

10/534341

534,341

Filed PCT

09 Nov 2005

(12) NACH DEM VEREINBAR ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Mai 2004 (27.05.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/044633 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G02B 6/293,**
6/28, 7/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2002/004175

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. November 2002 (11.11.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **CUBE OPTICS AG** [DE/DE]; Robert-Koch-Str. 30,
55129 Mainz (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **POPP, Martin**

[DE/DE]; Hinter der Kapelle 24, 55128 Mainz (DE).
SMAGLINSKI, Ingo [DE/DE]; Sophie-Cahn-Strasse
4, 55122 Mainz (DE). **HAASE, Jens** [DE/DE];
Philipp-Wasserburg-Str. 60, 55122 Mainz (DE). **HIM-**
MELSBACH, Gerhard [DE/DE]; Elbestr. 3, 64521
Gross-Gerau (DE).

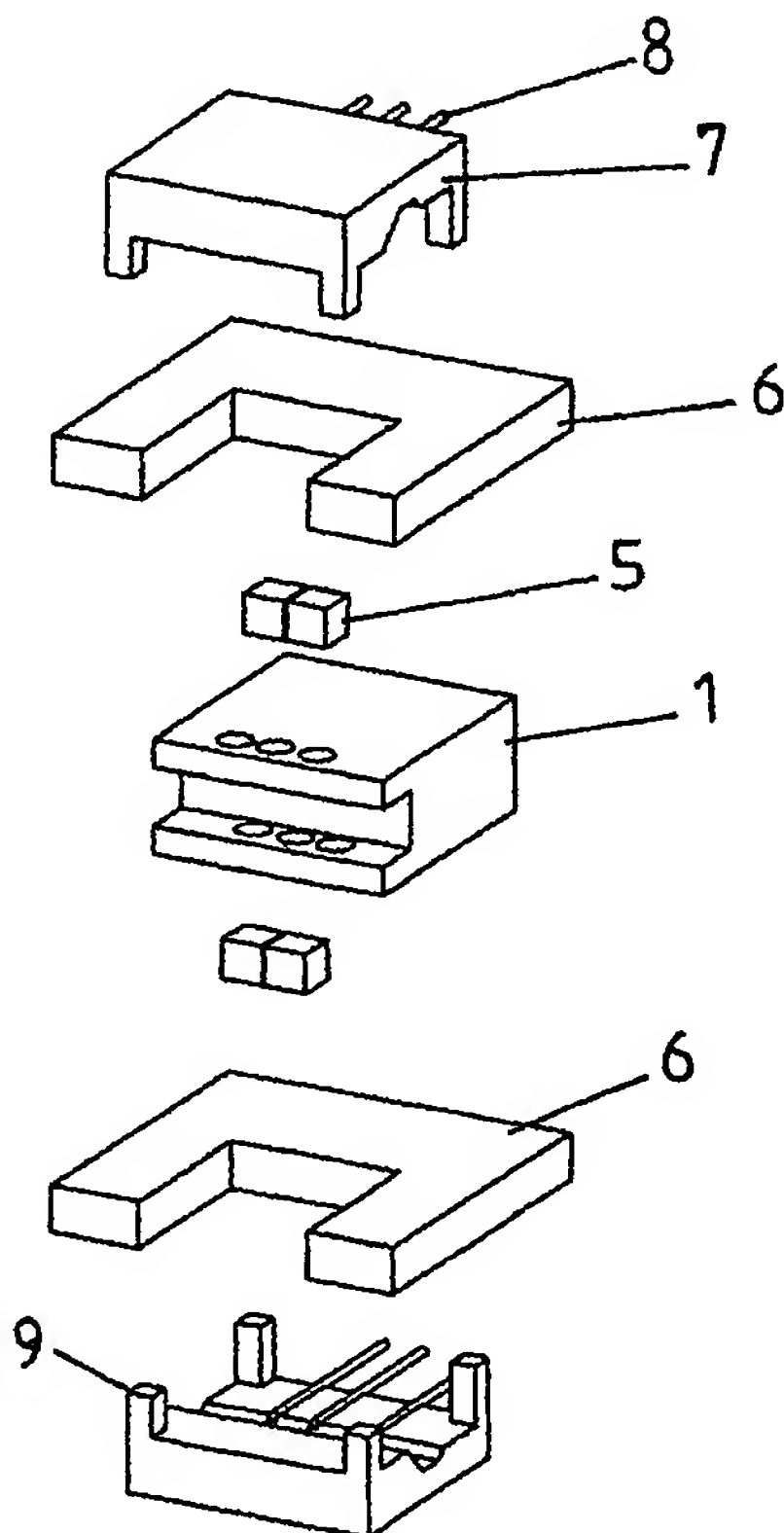
(74) Anwälte: **WEBER, Dieter** usw.; Taunusstrasse 5a, 65183
Wiesbaden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SUPPORT ELEMENT FOR MOUNTING OPTICAL ELEMENTS AND METHOD FOR PRODUCTION OF SUCH
A SUPPORT ELEMENT

(54) Bezeichnung: TRÄGERELEMENT ZUR AUFNAHME VON OPTISCHEN ELEMENTEN SOWIE VERFAHREN ZUR
HERSTELLUNG EINES SOLCHEN TRÄGERELEMENTES



(57) Abstract: The invention relates to a support element (1), for mounting at least two wave-modifying elements (5, 5', 5''), with support surfaces (2, 2', 2''), arranged parallel to each other. According to the invention, a support element for mounting at least two wave-modifying elements and corresponding production method may be achieved, whereby the support surfaces (2, 2', 2'') each have at least one opening and the openings are connected to each other by means of at least one through drilling (3).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Trägerelement (1) zur Aufnahme von mindestens zwei wellenmodifizierenden Elementen (5, 5', 5'') mit parallel zueinander angeordneten Auflageebenen (2, 2', 2''). Um ein Trägerelement zur Aufnahme von mindestens zwei wellenmodifizierenden Elementen sowie ein entsprechendes Herstellungsverfahren zu erhalten, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß die Auflageebenen (2, 2', 2'') jeweils mindestens eine Öffnung haben, wobei die Öffnungen über mindestens eine Durchgangsbohrung (3) miteinander verbunden sind.

WO 2004/044633 A1



SC, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

5 **Trägerelement zur Aufnahme von optischen Elementen sowie Verfahren zur Herstellung eines solchen Trägerelementes**

10

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Trägerelement zur Aufnahme von mindestens zwei wellenmodifizierenden Elementen sowie ein entsprechendes Herstellungsverfahren.

15 Des weiteren betrifft die vorliegende Erfindung einen optischen Modifizierer, z. B. zum Ein- und Auskoppeln von Signalen einzelner oder mehrerer Wellenlängenkanäle in oder aus Wellenleitern mit einem solchen Trägerelement.

20 Unter einem wellenmodifizierenden Element wird jegliches Element verstanden, das, in den Strahlengang gestellt, einen, mehrere oder sogar sämtliche Wellenlängenkanäle des optischen Kanals beeinflusst. Unter Beeinflussen wird beispielsweise Reflektieren, Absorbieren, Verstärken, Abschwächen, Unterbrechen oder Polarisieren verstanden.

25 Insbesondere in der Tele- und Datenkommunikation ist es mittlerweile üblich, Informationen optisch, d.h. z. B. über Lichtleiter, zu übertragen. Lichtleiter sind im allgemeinen dünne Fasern aus hoch transparenten optischen Materialien, die Licht in ihrer Längsrichtung durch vielfache Totalreflexion leiten. Das im allgemeinen über eine glatte Eingangsfläche eintretende Licht folgt allen Biegungen der Fasern und tritt am Ende aus einer im allgemeinen ebenfalls glatten Endfläche wieder aus. Die elektrischen Signale, die übertragen werden sollen, werden nach geeigneter Modulation durch einen elektrooptischen Wandler in Lichtsignale -meist im Infrarotbereich-

30 umgewandelt, in den Lichtwellenleiter eingekoppelt, vom Lichtwellenleiter übertragen und am Ende durch einen optoelektrischen Wandler in elektrische Signale zurück verwandelt. Um die Übertragungsrate der Lichtwellenleiter zu erhöhen, ist es mittlerweile üblich, mehrere unterschiedliche Nachrichtensignale gleichzeitig über einen Lichtwellenleiter zu übertragen. Dazu

35 werden die Nachrichtensignale moduliert. Für die unterschiedlichen Nachrichtensignale werden jeweils unterschiedliche Trägerfrequenzen verwendet, die auch als Kanäle bezeichnet werden. Nach der Übertragung der einzelnen Nachrichtensignale bzw. Wellenlängenkanäle über den Lichtwellenleiter müssen die einzelnen Signale getrennt und demoduliert werden.

In der Technik sind daher Vorrichtungen zum Addieren und Selektieren von wellenlängenco-
dierten Signalen (Licht einer spezifischen Wellenlänge oder spezifischen Wellenlängen), soge-
nannte Multiplexer- oder Demultiplexer-Anordnungen, bekannt. Solche Vorrichtungen verwen-
den optische Fasern, die eine große Informationsträgerdichte aufweisen. Zweck der Vorrichtun-
gen ist es u. a., aus der Vielzahl von übertragenen Informationen eine entsprechende Informati-
on bzw. einen entsprechenden Wellenlängenkanal abzutrennen. Für diese Abtrennung kommen
beispielsweise Schmalbandspiegel in Frage, die bestimmte Frequenzen des Lichts nahezu un-
gehindert passieren lassen, während ausgewählte Frequenzen reflektiert werden. Beim Austritt
des Lichts aus der Glasfaser kommt es zwangsläufig jedoch zu einer Strahlaufweitung, die dazu
führt, daß entweder die Intensität am Abbildungspunkt, d.h. an dem Punkt, an dem das gefilter-
te Licht ausgewertet wird, deutlich reduziert wird, oder die Verwendung von entsprechenden
Linsensystemen, z. B. Gradientenindexlinsen (GRIN-Linsen), notwendig ist, um das Licht auf
den entsprechenden Abbildungspunkt zu kollimieren. Da die Ausführungsform mit den Linsen
jedoch den Nachteil hat, daß diese zum einen recht teuer sind und zum anderen eine sehr ge-
naue Justierung erfordern und überdies die abbildenden Eigenschaften auch noch wellenlän-
genabhängig sind, wurde in der WO 02/21733 bereits eine Koppelvorrichtung mit einer ge-
krümmten reflektierenden Fläche vorgeschlagen. Diese Koppelvorrichtung dient zum Ein- bzw.
Auskoppeln von Signalen beispielsweise in oder aus Glasfasern. Die Verwendung einer reflek-
tierenden Fläche erlaubt es, auf die Linsenoptik zu verzichten, da die am Ende einer Glasfaser
zwangsläufig auftretende Strahlaufweitung durch die gekrümmte Fläche zumindest zum Teil
kompensiert wird.

Bei der in der WO 02/21733 beschriebenen Ausführungsform werden die wellenmodifizierenden
Elemente auf beide Seiten einer Glasplatte aufgelegt und gegebenenfalls fixiert. Dadurch wird
erreicht, daß die wellenmodifizierenden Elemente im wesentlichen auf zwei parallel zueinander
verlaufenden Ebenen angeordnet sind, so daß durch geeignete Positionierung der wellenmodi-
fizierenden Elemente ein Multiplexer-Demultiplexer verwirklicht werden kann.

Die Verwendung der Glasplatte hat jedoch den Nachteil, daß es im Glas zu einer Abschwä-
chung des Signals kommt, daß an den Grenzflächen der Glasplatte Reflexionen auftreten kön-
nen und daß es nicht möglich ist, zwischen zwei auf gegenüberliegenden Seiten der Glasplatte
montierten wellenmodifizierenden Elementen ein weiteres wellenmodifizierendes Element ein-
zufügen.

Die Ausführungsform mit der Glasplatte hat darüber hinaus den Nachteil, daß die parallelen Oberflächen der Glasplatte häufig nicht völlig planparallel zueinander sind, was eine aufwendige Nachjustierung der einzelnen Filter auf der Glasplatte erforderlich machen kann.

- 5 Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es daher Aufgabe der Erfindung, ein Trägerelement zur Aufnahme von mindestens zwei optischen Elementen mit zwei parallel zueinander angeordneten Auflageebenen zur Verfügung zu stellen, das einfach und kostengünstig herzustellen ist und die Nachteile des Standes der Technik vermeidet. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Trägerelementes anzugeben.

10

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Auflageebenen jeweils mindestens eine Öffnung haben, wobei die Öffnungen über mindestens eine Durchgangsbohrung miteinander verbunden sind. Dies hat zur Folge, daß die wellenmodifizierenden Elemente derart auf dem Trägerelement positioniert werden können, daß der Strahlengang durch die mindestens eine Durchgangsbohrung und nicht durch das Trägerelement verläuft. Dies führt wiederum dazu, daß es zwischen den einzelnen wellenmodifizierenden Elementen keinen Intensitätsverlust gibt und zudem keine störende Reflexionen an der Grenzfläche zu beispielsweise einer Glasplatte auftreten. Zudem ist es bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung nicht notwendig, daß das Trägerelement aus einem für die entsprechenden Frequenzen der einzelnen Wellenlängenkanäle durchsichtigen Material hergestellt wird. Es versteht sich, daß die Öffnungen nicht direkt durch die mindestens eine Durchgangsbohrung miteinander verbunden sein müssen, sondern beispielsweise jeweils eine Durchgangsbohrung zu einem Kanal oder einer Ausnehmung aufweisen können, so daß der Strahlengang von einer Durchgangsbohrung der einen Auflageebene durch den Kanal oder die Ausnehmung in eine andere Durchgangsbohrung der anderen Auflageebene verläuft.

15

20

25

Weiterhin versteht es sich, daß eine Durchgangsbohrung nicht unbedingt mit einem Bohrer hergestellt sein muß. Es ist vielmehr jegliche Ausnehmung, die geeignet ist, die Öffnungen der Auflageebenen miteinander zu verbinden, möglich.

0

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß das Trägerteil einstückig ausgebildet ist. Dies hat den Vorteil, daß eine Justierung der einzelnen Auflageebenen zueinander entfällt. Die wellenmodifizierenden Elemente können einfach auf die entsprechenden Auflageebenen des Trägerteils aufgelegt und gegebenenfalls fixiert werden.

5

- Mit Vorteil liegt zumindest ein, vorzugsweise jedes wellenmodifizierende Element derart auf der Auflageebene auf, daß eine entsprechende Öffnung zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig durch je ein oder mehrere wellenmodifizierendes Element verdeckt ist. Durch eine vollständige Abdeckung der Öffnung ist eine einfachere Fixierung der wellenmodifizierenden Elemente auf der Auflageebene möglich, da die wellenmodifizierenden Elemente eine Öffnung vollständig verdeckend auf der Auflageebene angeordnet werden können und in dieser Position mit einem Haftmittel, z. B. Klebstoff, fixiert werden können, ohne daß eine nennenswerte Menge des Klebstoffes in die Durchgangsbohrung fließt und möglicherweise in den Strahlengang gerät.
- 10 Weiterhin ist an der bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, daß zumindest eine Auflageebene eine Öffnung zum Ein- und/oder Auskoppeln eines Lichtsignals aufweist. Mit anderen Worten ist eine Öffnung nicht mit einem wellenmodifizierenden Element versehen, so daß das Licht unverändert in eine entsprechende Durchgangsbohrung des Trägerteils eindringen kann.
- 15 In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß zumindest eine Auflageebene mindestens zwei Öffnungen aufweist und eine Öffnung der anderen Auflageebene auf der Mittelsenkrechten auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Öffnungen der ersten Auflageebene liegt. Mit anderen Worten sind die Öffnungen der einzelnen Auflageebenen zueinander versetzt angeordnet, so daß sich ein zickzackförmiger Strahlengang ergibt. Bei geeigneter
- 20 Anordnung der Öffnungen (und der diese verbindenden Durchgangsbohrungen) ist eine Nachjustierung der wellenmodifizierenden Elemente, die auf den Auflageebenen aufliegen, nicht notwendig.
- Es versteht sich, daß die Öffnungen sowie die Durchgangsbohrungen prinzipiell beliebig gestaltet sein können. Mit Vorteil kommen kreisförmige Bohrungen, Langlöcher oder Ausnehmungen zum Einsatz.
- 30 In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß das Trägerteil aus einem plastisch und/oder elastisch verformbaren Material hergestellt ist. Dies hat den Vorteil, daß die Justiergenauigkeit bei Auflage eines wellenmodifizierenden Elements auf der Auflageebene erhöht wird. Erfindungsgemäß ist, wie bereits ausgeführt wurde, vorgesehen, daß keinerlei Justage vorgenommen wird, sondern die wellenmodifizierenden Elemente passiv allein durch Auflage der wellenmodifizierenden Elemente auf der Auflageebene justiert werden. Nun kann es jedoch vorkommen, daß die Oberfläche der wellenmodifizierenden Elemente uneben
- 35 ist, insbesondere kann es passieren, daß auf der Oberfläche des wellenmodifizierenden Elements einzelne kleinere im wesentlichen punktförmige Erhöhungen vorhanden sind. Eine sol-

che Erhöhung führt jedoch dazu, daß das entsprechende wellenmodifizierende Element, wenn es auf die Auflageebene aufgelegt wird, nicht völlig parallel zu den anderen wellenmodifizierenden Elementen ausgerichtet ist. Dadurch, daß das Trägerteil aus einem duktilen und/oder elastisch verformbaren Material besteht, kann bei der passiven Justierung des wellenmodifizierenden Elements auf der Auflageebene ein geeigneter Druck auf das wellenmodifizierenden Element in Richtung der Auflageebene aufgebracht werden, so daß eine eventuell vorhandene punktförmige Erhöhung sich in das duktile Material hineindrückt. Es kommt somit zu einer lokal begrenzten plastischen oder elastischen Verformung der Auflageebene, wodurch die Justierung des wellenmodifizierenden Elements auf der Auflageebene verbessert wird. Es versteht sich, daß das erfindungsgemäße beschriebene passive Justierungsverfahren, bei dem ein wellenmodifizierendes Element gegen eine plastisch und/oder elastisch verformbare Auflageebene gedrückt wird, nicht auf die Justierung von wellenmodifizierenden Elementen auf Trägerteilen beschränkt ist, sondern ganz allgemein bei der Justierung von irgendwelchen optischen Elementen, wie z. B. Linsen, Filtern, usw., auf irgendwelchen Auflage- oder Trägerelementen mit Vorteil zur Anwendung kommen kann. Wesentlich ist lediglich, daß das Material aus dem das Auflageelement oder das Trägerelement besteht, elastisch und/oder plastisch, vorzugsweise plastisch verformbar ist und bei der Justierung das optische Element auf die Auflagefläche auf dem Auflage- oder Trägerelement aufgedrückt wird. Es versteht sich, daß hierfür nicht notwendigerweise das gesamte Auflage- oder Trägerelement aus elastisch und/oder plastisch verformbaren Material bestehen muß, sondern es völlig ausreicht, wenn die entsprechende Auflagefläche zumindest eine Schicht aus einem elastisch und/oder plastisch verformbaren Material aufweist.

Es hat sich gezeigt, daß das Trägerteil mit Vorteil aus einem Material besteht, das eine geringere Härte hat als das Material aus dem die wellenmodifizierenden Elemente bestehen (im allgemeinen Quarzglas oder eine Glaskeramik). In zahlreichen Versuchen wurde nachgewiesen, daß in einer besonders bevorzugten Ausführungsform mit Vorteil das Material des Trägerelements zumindest im Bereich der Auflageebenen eine Knoop-Härte (nach ISO 9385) kleiner als 400 HK, besonders bevorzugt kleiner als 300 HK hat.

Alternativ oder in Kombination hierzu wird das Material des Trägerelements so ausgewählt, daß die maximale Druckfestigkeit kleiner als 1500 MPa, vorzugsweise kleiner als 800 MPa, besonders bevorzugt kleiner als 450 MPa ist.

Mit Vorteil ist das Trägerteil aus Messing, Stahl, Eisen, Kupfer, Neusilber, Silber, Gold oder Kunststoff, vorzugsweise POM oder PEEK, hergestellt. Es hat sich gezeigt, daß diese Materia-

lien hinsichtlich ihrer Bearbeitung und zumindest teilweise auch hinsichtlich ihres duktilen Verhaltens besonders vorteilhaft für die Herstellung des erfindungsgemäßen Trägerteils sind.

5 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist zumindest eine Auflageebene auf der der anderen Auflageebene abgewandten Seite ein Distanzelement auf.

10 Dieses Distanzelement, das vorzugsweise zwei parallel zueinander verlaufende Anschlagsflächen hat, dient dazu, eine Adaptionfläche für ein Strahlformungselement bzw. eine entsprechende Kopplungsvorrichtung zur Verfügung zu stellen. Ein beispielsweise aus einer Glasfaser austretender Lichtstrahl wird in der Kopplungsvorrichtung bzw. in dem Strahlformungselement in paralleles Licht umgewandelt, das dann durch die auf dem erfindungsgemäßen Trägerteil aufgebracht

15 aufbrachten wellenmodifizierenden Elemente tritt. Es ist dazu im allgemeinen notwendig, die Kopplungsvorrichtung bzw. das Strahlformungselement gegenüber dem erfindungsgemäßen Trägerteil exakt zu positionieren. Dies wird durch das Distanzelement erleichtert, da das Strahlformungselement einfach, beispielsweise mit entsprechenden Füßen 9, auf die Anschlagsfläche des Distanzelements aufgesetzt und fixiert werden kann und durch geeignete Wahl des Distanzelements dadurch eine passive Justierung des Strahlformungselements gegenüber dem Trägerteil erfolgt. Das Distanzelement könnte auch aus einer oder mehreren Schrauben oder Stiften bestehen, die beispielsweise in die Auflageebenen eingeschraubt werden und deren

20 Kopf als Anschlagsfläche für die Kopplungsvorrichtung dient.

Mit Vorteil hat das Distanzelement einen Durchgang auf der der Auflageebene zugewandten Seite, in dem das optische Element angeordnet ist. Mit anderen Worten umgibt das Distanzelement das optische Element bzw. das wellenmodifizierende Element an den Seiten, so daß

25 dieses gegenüber äußeren Eingriffen geschützt ist.

Das Distanzelement besteht vorzugsweise aus einer Präzisionsfolie.

30 In einer anderen alternativen Ausführungsform besteht das Distanzelement aus mindestens einem Stift, der sich durch beide Auflageebenen erstreckt. Somit kann durch einen einzigen Distanzstift auf beiden Auflageebenen ein Distanzelement zur Verfügung gestellt werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind Distanzelement und Trägerteil einstückig ausgebildet. Dies hat den Vorteil, daß eine Justierung und gegebenenfalls Fixierung des Distanzelements gegenüber dem Trägerteil nicht notwendig ist.

5

Bei einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform sind mindestens drei zueinander parallele Auflageebenen vorgesehen. Durch diese Maßnahme ist es möglich, deutlich komplexere Aufbauten mit wellenmodifizierenden Elementen zu verwirklichen, die im Stand der Technik nur mit großem Justieraufwand verwirklicht werden konnten.

5

Als wellenmodifizierende Elemente kommen mit Vorteil Schmalbandspiegel zum Einsatz.

Das erfindungsgemäße Trägerteil kommt in einer besonders bevorzugten Ausführungsform in einer Multiplexer-/Demultiplexervorrichtung oder in einem Strahlteiler zum Einsatz.

10

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Trägerteils zur Aufnahme von mindestens zwei wellenmodifizierenden Elementen weist die folgenden Schritte auf:

Auswählen eines Materialblocks mit einer oberen und einer unteren Fläche,

15

Einbringen einer oder mehreren Durchgangsbohrungen bzw. Durchgängen, die in der oberen oder unteren Fläche in Öffnungen münden, so daß die Durchgänge die obere und die untere Fläche miteinander verbinden, und

Herstellen von zumindest zwei parallel zueinander verlaufenden Auflageebenen, wobei die eine Auflageebene auf der oberen Fläche und die andere Auflageebene auf der unteren Fläche angeordnet ist. Die Öffnungen bzw. die Durchgangsbohrungen werden dabei so angeordnet, daß bei auf den Auflageebenen angeordneten wellenmodifizierenden Elementen der Strahlenverlauf nicht durch den Materialblock verläuft.

20

Mit Vorteil werden die Auflageebenen nach dem Einbringen der Durchgänge hergestellt. Dies hat den Vorteil, daß durch das Einbringen der Durchgänge die Oberflächenqualität der Auflageebenen nicht wieder verschlechtert wird.

25

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden die Auflageebenen mit einer gemittelten Rauhtiefe R_z (nach DIN 4768) von kleiner als 100 nm, vorzugsweise kleiner als 50 nm, besonders bevorzugt kleiner als 20 nm, hergestellt.

30

Ein besonders zweckmäßiges Verfahren sieht vor, daß die Auflageebenen mit einem spanabhebenden Verfahren, vorzugsweise durch Diamantdrehen oder Diamantfräsen hergestellt werden. Dadurch ist eine sehr hohe Oberflächengenauigkeit erzielbar.

35

Es hat sich gezeigt, daß die Parallelität der Auflageebenen besonders gut ist, wenn die Auflageebenen durch ein Drehverfahren hergestellt werden, wobei der Materialblock derart auf dem Umfang einer sich drehenden Vorrichtung eingespannt wird, daß die herzustellenden Auflageebenen senkrecht zur Drehachse der sich drehenden Vorrichtung orientiert sind. Dies hat nämlich zur Folge, daß alle Auflageebenen in einer einzigen Aufspannung hergestellt werden können. Abweichungen in der Parallelität aufgrund von Justierungsfehlern beim erneuten Einspannen des Werkzeuges im Werkzeughalter werden dadurch vermieden.

Es versteht sich, daß die Durchgangsbohrungen nicht direkt eine Verbindung zwischen den Öffnungen der beiden Auflageebenen herstellen müssen. Es ist vielmehr bei einem weiteren besonders bevorzugten Verfahren vorgesehen, daß ein Kanal, der vorzugsweise in etwa parallel zu den Auflageebenen verläuft, eingebracht wird. Dieser Kanal kann beispielsweise aus einer Ausnehmung oder einer Frästasche bestehen. Dadurch können die Durchgangsbohrungen im wesentlichen senkrecht zu den Auflageebenen ausgerichtet werden, wodurch das Einbringen der Durchgangsbohrungen und damit der Öffnungen der Auflageebenen erleichtert wird. Der Strahlengang verläuft dann beispielsweise von der ersten Auflageebene durch eine erste Durchgangsbohrung in den Kanal und von dort über eine zweite Durchgangsbohrung zur zweiten Auflageebene.

Mit Vorteil wird zumindest ein wellenmodifizierendes Element auf eine Auflageebene des Trägartils aufgelegt und dieses anschließend in dieser Position fixiert, um einen optischen Modifizierer herzustellen.

In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Fixierung mit einem Haftmittel, vorzugsweise mit Klebstoff.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform wird der Materialblock aus einem elastisch und/oder plastisch verformbaren Material ausgewählt. Die wellenmodifizierenden Elemente werden dann mit Vorteil unter einem bestimmten Anpreßdruck auf den Auflageebenen des Trägartils fixiert. Dies hat den Vorteil, daß sich gegebenenfalls vorhandene im wesentlichen punktförmige Unebenheiten der Auflageebenen und/oder der Oberfläche der wellenmodifizierenden Elemente in das plastisch und/oder elastisch verformbare Material eindrücken und somit eine höhere Winkelgenauigkeit erzielt werden kann.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung werden deutlich anhand der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen sowie der dazu gehörigen Figuren.

5 Es zeigen:

- | | |
|---------------------|---|
| Fig. 1a bis 1g | verschiedene Ansichten einer ersten Ausführungsform der Erfindung, |
| Fig. 2a und 2b | eine zweite Ausführungsform der Erfindung, |
| Fig. 3a bis 3k | eine dritte Ausführungsform der Erfindung, |
| 10 Fig. 4a bis 4g | eine vierte Ausführungsform der Erfindung, |
| Fig. 5a bis 5c | eine fünfte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Trägerteils, |
| Fig. 6a bis 6k | eine sechste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Trägerteils mit drei Auflageebenen, |
| Fig. 7a bis 7o | eine siebte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Trägerteils mit drei Auflageebenen, |
| 15 Fig. 8a und 8b | eine schematische Darstellung des Justierungsvorgangs eines wellenmodifizierenden Elements auf der Auflageebene, |
| Fig. 9a bis 9c | eine weitere schematische Darstellung der Justierung eines wellenmodifizierenden Elements auf einer Auflageebene, wobei die Auflageebene durch Auflageelemente gebildet wird, |
| 20 Fig. 10a bis 10d | eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens, |
| Fig. 11 | eine schematische Darstellung einer ersten Anwendung der Erfindung, |
| Fig. 12 | eine schematische Darstellung einer zweiten Anwendung der Erfindung, |
| 25 Fig. 13 | eine schematische Darstellung einer dritten Anwendung der Erfindung, |
| Fig. 14 | eine schematische Darstellung einer vierten Anwendung der Erfindung und |
| Fig. 15 | eine schematische Darstellung einer fünften Anwendung der Erfindung. |

- 10 In Fig. 1a ist eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Trägerteils 1 dargestellt. Das Trägerteil 1 hat eine obere Auflageebene 2 und eine untere Auflageebene 2'. Die beiden Auflageebenen 2, 2' werden durch die Seitenflächen des Trägerteils 1 miteinander verbunden. Das Trägerteil 1 weist an einer Seite einen Kanal bzw. eine Ausnehmung 4 auf, die hier die Form einer Frästasche hat. Die beiden Auflageebenen 2, 2' weisen in der gezeigten Ausführungsform
- 5 jeweils drei Durchgangsbohrungen 3 auf, die sich von der Auflageebene 2 bzw. 2' bis in den Kanal 4 erstrecken. Während der Kanal 4 im wesentlichen parallel zu den Auflageebenen 2, 2'

verläuft, sind die Durchgangsbohrungen 3 im wesentlichen senkrecht zu den Auflageebenen 2 und 2' angeordnet.

Wie in Fig. 1b zu sehen ist, sind die durch die Durchgangsbohrungen 3 gebildeten Öffnungen in den Auflageebenen 2 und 2' dafür vorgesehen, daß wellenmodifizierende Elemente 5 derart auf die Auflageebene 2 bzw. 2' aufgelegt werden, daß sie die Öffnungen zumindest teilweise und vorzugsweise vollständig abdecken. Das wellenmodifizierende Element kann beispielsweise ein Schmalbandspiegel sein, der alle Wellenlängen, abgesehen von einem schmalen Band, das mindestens einen Wellenlängenkanal, gegebenenfalls jedoch auch mehrere Wellenlängenkanäle, umfaßt, reflektiert. Die Wellenlängen in dem schmalen Band können hingegen transmittieren.

So könnte die Anordnung der Fig. 1b beispielsweise dazu genutzt werden, um aus einem Signal vier Kanäle auszukoppeln. Dazu könnte beispielsweise das Lichtsignal durch die linke obere Öffnung durch die obere Auflageebene hindurch eingestrahlt werden, so daß sie durch die Frästasche 4 und die linke untere Öffnung hindurchtritt und auf das an der unteren Auflageebene 2' befestigte linke wellenmodifizierende Element 5 trifft. Wenn dies ein Schmalbandspiegel ist, transmittiert hier lediglich ein Wellenlängenkanal, während alle anderen Wellenlängenkanäle zurück durch die linke untere Öffnung nach oben durch die Frästasche 4 und durch das mittlere obere Durchgangsbohrung 3 auf das linke obere wellenmodifizierende Element 5 reflektiert wird. Auch hier wird wieder lediglich ein Wellenlängenkanal durchgelassen, während alle anderen Wellenlängen nach unten in Richtung des rechten unteren wellenmodifizierenden Elements reflektiert werden. Dieser Vorgang setzt sich fort, bis alle verbleibenden Wellenlängenkanäle durch die rechte untere Öffnung die Vorrichtung wieder verlassen. Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Durchgangsbohrungen 3 in Kombination mit der Frästasche 4 wird hier sichergestellt, daß der Strahlengang frei von Material ist, d.h. daß es zu keiner Abschwächung des Signals oder zu wellenlängenabhängigen Effekten kommt. Durch die parallele Anordnung der beiden Ebenen 2 und 2' wird jedoch dennoch sichergestellt, daß die wellenmodifizierenden Elemente 5 einfach auf die Auflageebenen 2 und 2' aufgelegt werden können, ohne daß eine nachträgliche Feinjustierung notwendig ist. Die Justierung erfolgt somit passiv, d.h. einfach durch entsprechende Anordnung der durch die Durchgangsbohrungen 3 gebildeten Öffnungen auf den planparallelen Auflageebenen 2 und 2'. Die Vorrichtung ist justiert, nachdem die wellenmodifizierenden Elemente 5 auf der Auflageebene 2 bzw. 2' aufgebracht sind, wobei gegebenenfalls eine entsprechende Andrückkraft von Vorteil ist.

In der Fig. 1c ist zu erkennen, daß auf den Auflageebenen 2 und 2' jeweils noch ein Distanzelement 6 positioniert ist, das eine Ausnehmung aufweist, in der die wellenmodifizierenden E-

lemente 5 Platz finden. Dieses Distanzelement 6 hat ebenfalls zwei planparallele Auflageflächen und dient als Adaptionfläche für die Justierung einer entsprechenden Kopplungsvorrichtung. Die Distanzelemente 6 haben vorzugsweise eine Dicke, die die Höhe der wellenmodifizierenden Elemente 5 übersteigt, so daß, wenn auf das Distanzelement 6 ein ebenes Element
5 aufgelegt werden würde, dieses mit den wellenmodifizierenden Elementen 5 nicht in Eingriff tritt.

10 In der Fig. 1d und 1e sind noch weitere Ansichten des erfindungsgemäßen Trägerteils 1 mit wellenmodifizierenden Elementen 5 und Distanzelementen 6 gezeigt.

In den Fig. 1f und 1g ist eine Explosionsansicht und eine perspektivische Ansicht des erfindungsgemäßen Trägerteils 1 zusammen mit zwei Kopplungsvorrichtungen 7 gezeigt. Die Kopplungsvorrichtungen 7 dienen dazu, Lichtsignale, die beispielsweise über Glasfaser 8 zur Verfügung gestellt werden, als paralleles Licht in das Trägerteil 1 derart einzukoppeln, so daß der
15 Strahlenverlauf über die einzelnen wellenmodifizierenden Elemente 5 verläuft.

Die Kopplungsvorrichtung 7 kann prinzipiell ganz beliebig aufgebaut sein. So sind beispielsweise Kopplungsvorrichtungen mit Linsensystemen, z. B. mit Gradientenindexlinsen, denkbar. Besonders bevorzugt wird hier jedoch eine Kopplungsvorrichtung verwendet, wie sie aus der WO
20 02/21733 bereits bekannt ist. Eine solche Kopplungsvorrichtung weist eine gekrümmte reflektierende Fläche auf, so daß die am Ende einer Glasfaser auftretende Strahlaufweitung durch die Reflexion an der gekrümmten Fläche, die beispielsweise die Form eines Abschnitts eines Rotationsparaboloiden, eines Rotationsellipsoiden oder eines Rotationshyperboloiden hat, dazu, daß diese zumindest zum Teil kompensiert wird. Das Distanzelement 6 dient dazu, für entsprechende
25 Anschlagflächen der Kopplungsvorrichtung 7 eine Adaptionfläche zur Verfügung zu stellen, so daß auch hier eine passive Justage, d.h. eine Justage lediglich durch Aufbringen und eventuelles Andrücken der Kopplungsvorrichtung auf das Distanzelement 6, erfolgen kann.

0 In Fig. 1g ist in einer perspektivischen Ansicht dargestellt, wie beispielsweise ein Demultiplexer-/Multiplexersystem auf engstem Raum verwirklicht werden kann. Eine aufwendige Justierung ist aufgrund der erfindungsgemäßen Ausbildung des Trägerteils 1 sowie der Distanzelemente 6 nicht notwendig.

5 In den Fig. 2a und 2b ist eine alternative Ausführungsform gezeigt. Der einzige Unterschied zwischen der in den Fig. 2a und 2b gezeigten Ausführungsform gegenüber der in den Fig. 1a bis 1g gezeigten liegt darin, daß die Durchgangsbohrung 3 hier als Langloch verwirklicht ist. Mit

anderen Worten steht hier nicht jedem wellenmodifizierenden Element 5 eine eigene Öffnung auf der Auflageebene 2 bzw. 2' zur Verfügung, sondern jedes Wellenlängenelement 5 deckt einen Teil der Öffnung ab. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die Öffnung sowie auch die Durchgangsbohrung 3 im Prinzip jede beliebige Form annehmen kann.

5 Wesentlich ist lediglich, daß den wellenmodifizierenden Elementen 5 ein entsprechender Auflagebereich auf der Auflageebene 2 bzw. 2' zur Verfügung gestellt wird, so daß die wellenmodifizierenden Elemente 5 lediglich durch Auflegen bzw. Aufsetzen auf die Auflageebenen 2 bzw. 2' positioniert werden können.

10 An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die wellenmodifizierenden Elemente 5 nicht unbedingt auf den außen liegenden Auflageebenen 2 und 2' befestigt werden müssen. Es wäre beispielsweise denkbar, daß die wellenmodifizierenden Elemente 5 an der oberen und unteren Seitenfläche der Ausnehmung 4, die dann als parallele Auflageebenen ausgebildet sein müßten, montiert werden könnten.

15 Es ist daher beispielsweise nicht unbedingt notwendig, daß eine parallel zu den Auflageebenen 2 bzw. 2' verlaufender Kanal 4 vorgesehen ist. Es würde völlig genügen, wenn lediglich schräg verlaufende Durchgangsbohrungen 3 durch das Trägerteil 1 derart angeordnet wären, daß sie die beiden Auflageebenen 2 und 2' in geeigneter Weise derart verbinden, daß der Strahlenver-
20 lauf vollständig im materialfreien Raum erfolgen kann. Allerdings hat, wie oben bereits ausgeführt wurde, die Ausführungsform mit Kanal 4 und im wesentlichen senkrecht zu den Auflageebenen orientierten Durchgangsbohrungen 3 fertigungstechnischen Vorteile.

In den Fig. 3a bis 3e ist eine dritte Ausführungsform des Trägerteils 1 gezeigt. Wie in der perspektivischen Ansicht der Fig. 3a zu erkennen ist, hat das Trägerteil 1 auch hier Durchgangsbohrungen 3, die sich im wesentlichen senkrecht zu den Auflageebenen 2 bzw. 2' erstrecken. In etwa parallel zu den Auflageebenen 2 bzw. 2' ist hier nun kein Kanal in Form einer Frästasche vorgesehen, sondern lediglich ein Kanal in Form einer Verbindungsbohrung 4. In der in Fig. 3b gezeigten Schnittansicht entlang der Linie A-A der Fig. 3c ist deutlich zu erkennen, daß die
0 durch die Durchgangsbohrungen 3 gebildeten Öffnungen in der oberen Auflageebene 2 gegenüber den durch die Durchgangsbohrungen 3 gebildeten Öffnungen in der unteren Auflageebene 2' versetzt sind. Dies ist notwendig, so daß ein beispielsweise durch die linke obere Öffnung 3 eintretender Lichtstrahl an einem an der linken unteren Öffnung montierten Schmalbandfilter derart reflektiert wird, daß der reflektierte Lichtstrahl durch die obere mittlere Öffnung hindurch-
5 tritt.

In den Fig. 3f bis 3h sind weitere Ansichten dieser dritten Ausführungsform des Trägerteils 1 gezeigt, wobei hier wieder Distanzelemente 6 aufgesetzt wurden. Mit Blick auf Fig. 3g ist deutlich zu erkennen, daß die Höhe der Distanzelemente 6 so gewählt wurde, daß die wellenmodifizierenden Elemente 5 nicht über die äußere Oberfläche der Distanzelemente 6 hervorstehen.

5

In den Fig. 3i und 3k ist erneut eine Explosionsansicht sowie eine perspektivische Ansicht eines Demultiplexer-/Multiplexersystems mit dem erfindungsgemäßen Trägerteil 1 der dritten Ausführungsform dargestellt.

- 10 Bei den bisher dargestellten Ausführungsformen wurde ein im wesentlichen plattenförmiges bzw. folienförmiges Distanzelement 6 verwendet. So ist es beispielsweise möglich, das Distanzelement 6 aus einer Präzisionsfolie mittels Laserschneiden herzustellen.

- 15 Das Distanzelement kann jedoch auch völlig anders aufgebaut sein, wie beispielhaft anhand der in den Fig. 4a bis 4g gezeigten vierten Ausführungsform zu sehen ist. In den Fig. 4a bis 4d ist deutlich zu erkennen, daß sich das Trägerteil 1 hier von dem Trägerteil der Ausführungsformen der Fig. 3a bis 3k nur dadurch unterscheidet, daß Bohrungen 10 vorgesehen sind, die sich senkrecht zu den Auflageebenen 2, 2' durch das Trägerteil 1 hindurch erstrecken. Wie insbesondere in den Fig. 4b bis 4d gut zu erkennen ist, besteht das Distanzelement 6 hier aus vier
- 20 Stiften, die durch die zusätzlichen Bohrungen 10 gesteckt werden. Die Stifte haben einen schmalen Abschnitt 11, dessen Außendurchmesser in etwa dem Bohrdurchmesser der Bohrungen 10 entspricht. Die Stifte weisen einen dickeren Kopf 12 auf, der so ausgestaltet ist, daß dieser Teil nicht durch die Bohrungen 10 rutschen kann. Der längliche Abschnitt 11 und der Kopf 12 sind so ausgebildet, daß im in die Bohrung 10 eingesteckten Zustand, wie insbesondere in den Fig. 4b und 4e gezeigt ist, das längliche Teil 11 bzw. der Kopf 12 über die Auflage-
- 5 ebenen 2 und 2' jeweils so weit übersteht, daß die wellenmodifizierenden Elemente 5 nicht über das Distanzelement 6 hervorstehen. Wie in den Fig. 4f und 4g zu sehen ist, sind die Stifte 6 derart positioniert, daß sie für die Kopplungsvorrichtung 7 eine entsprechende Auflagefläche bieten.

0

- Die Stifte können in einer alternativen Ausführungsform eine unterschiedliche Länge haben. Dies kann insbesondere dann von Vorteil sein, wenn Kopplungsvorrichtung 7 und Trägerteil 1 aus einem unterschiedlichem Material hergestellt sind und daher einen unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zeigen. Da die Kopplungsvorrichtung 7 auf den als Dis-
- 5 tanzelementen 6 dienenden Stiften fixiert ist, kann es – bedingt durch Temperaturveränderungen – zu einer Verbiegung der Kopplungsvorrichtung 7 kommen, wenn sich Trägerteil 1 und

Kopplungsvorrichtung 7 beispielsweise in der in Figur 4g horizontalen Richtung unterschiedlich stark ausdehnen bzw. zusammenziehen. Durch diese Verbiegung kann es zu einer Dejustierung der Kopplungsvorrichtung 7 und des Trägerteils 1 kommen, so daß das parallele Licht, das die Kopplungsvorrichtung 7 verläßt nicht mehr optimal ausgerichtet ist. Durch geeignete Wahl der Längen der Stifte kann diese Dejustierung aufgrund des unterschiedlichen Ausdehnungsverhalten – in vertikaler Richtung - ausgeglichen werden. Alternativ dazu könnten die Stifte auch aus unterschiedlichem Material hergestellt werden, so daß die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der unterschiedlichen Materialien für eine Kompensation des Ausdehnungseffektes sorgen.

In den Fig. 5a bis 5c sind verschiedene Ansichten einer weiteren Ausführungsform des Trägerteils 1 gezeigt. Das Trägerteil 1 hat auch hier eine obere und eine untere Fläche, die jedoch nicht als Auflageebenen 2, 2' dienen, sondern als Distanzelement. Die eigentlichen Auflageebenen 2, 2' werden durch zwei Einfräsungen gebildet. Die Auflageebenen 2 und 2' sind somit gegenüber der oberen und der unteren Fläche etwas zurückgesetzt. Die Einfräsungen bzw. Zurücksetzungen sind entsprechend eines Kreisabschnittes geformt, was herstellungstechnische Vorteile mit sich bringt, wie im folgenden noch erläutert werden wird.

Die wellenmodifizierenden Elemente werden, wie in den Abbildungen der Fig. 5b zu sehen ist, in die Einfräsungen eingelegt. Die Einfräsungen sind so bemessen, daß bei aufgebrachten wellenmodifizierenden Elementen 5 auf die Auflageebene 2 bzw. 2' diese nicht über die obere bzw. untere Fläche des Trägerteils 1 hervorstehen. Bei dieser Ausführungsform sind somit Trägerteil 1 und Distanzelement 6 einstückig gefertigt. In den Abbildungen der Fig. 5c sind zwei perspektivische Ansichten eines Multiplexer-/Demultiplexersystems mit einem solchen Trägerteil 1 dargestellt.

Bei den bislang gezeigten Ausführungsformen war das Trägerteil 1 jeweils so ausgebildet, daß lediglich zwei parallel zueinander verlaufende Auflageebenen 2 und 2' zur Verfügung gestellt wurden. Es ist jedoch möglich, das erfinderische Konzept derart weiter zu entwickeln, daß mehr als zwei Auflageebenen 2, 2' zur Verfügung gestellt werden.

So ist in den Fig. 6a bis 6k eine erste Ausführungsform gezeigt, bei der drei Auflageebenen verwirklicht werden. Wie insbesondere in Fig. 6a zu sehen ist, besteht hier das Trägerteil 1 aus einem oberen Trägerteil und einem unteren Trägerteil. Das obere Trägerteil ist hier im wesentlichen identisch zu den im Zusammenhang mit den Fig. 1 bis 5 beschriebenen Trägerteilen. Das untere Trägerteil weist hier zusätzlich eine Ausnehmung 13 auf, die es erlaubt, daß ein an der

unteren Auflageebene des oberen Trägerteils befestigtes wellenmodifizierendes Element 5' in den Körper des unteren Trägerteils eintaucht. Dies ist besonders gut in der Schnittzeichnung der Fig. 6d oder der perspektivischen Schnittansicht der Fig. 6e zu sehen. Die erste Auflageebene wird somit von der oberen Auflageebene des oberen Trägerteils gebildet, während die zweite Auflageebene von der unteren Auflageebene des oberen Trägerteils gebildet wird und die dritte Auflageebene von der unteren Auflageebene des unteren Trägerteils gebildet wird. Das obere und das untere Trägerteil weisen jeweils zwei parallel zueinander verlaufende Auflageebenen auf, wobei die untere Auflageebene des oberen Trägerteils auf der oberen Auflageebene des unteren Trägerteils aufliegt.

Um den Anwendungsbereich eines solchen Aufbaus zu verdeutlichen, ist in den Fig. 6g bis 6k der Strahlenverlauf schematisch eingezeichnet. Beispielsweise könnte, wie in Fig. 6h dargestellt ist, von links oben ein Lichtstrahl mit den Wellenlängenkanälen $\lambda 1$ bis $\lambda 10$ eingekoppelt werden. Dieser trifft dann auf das wellenmodifizierende Element 5' der Zwischenebene. Diese kann so ausgebildet sein, daß es die Wellenlängenkanäle $\lambda 1$ bis $\lambda 5$ durchläßt, während die Wellenlängenkanäle $\lambda 6$ bis $\lambda 10$ reflektiert werden. Die transmittierten Wellenlängenkanäle $\lambda 1$ bis $\lambda 5$ treffen dann auf das linke wellenlängenmodifizierende Element 5 der untersten Auflageebene. Dieses ist in dem gezeigten Beispiel derart ausgebildet, daß es den Wellenlängenkanal $\lambda 1$ durchläßt, während alle anderen Wellenlängenkanäle reflektiert werden. Der reflektierte Strahl (der die Wellenlängenkanäle $\lambda 2$ bis $\lambda 5$ enthält) tritt dann durch die obere bzw. untere Öffnung des unteren bzw. oberen Trägerteils 1 und trifft auf das von links gesehen zweite wellenmodifizierende Element auf der oberen Auflageebene. Dieses wellenmodifizierende Element ist derart konfiguriert, daß lediglich der Wellenlängenkanal $\lambda 2$ durchgelassen wird, während alle anderen Wellenlängenkanäle, d.h. die Wellenlängenkanäle $\lambda 3$ bis $\lambda 5$, reflektiert werden. Man kann sich anhand von Fig. 6h die genauen Reflexions- bzw. Transmissionsbedingungen verdeutlichen.

Diese Ausführungsform hat mehrere Vorteile. Zum einen führt jede Reflexion an einem Schmalbandspiegel zwangsläufig zu einer gewissen Signalabschwächung und - aufgrund von geringen Winkeltoleranzen der Filter – auch zu einem kleinen Winkelfehler. Es ist daher bei einer Anordnung mit lediglich zwei parallel zueinander verlaufenden Ebenen, auf denen die einzelnen wellenmodifizierenden Elemente 5 angeordnet sind, insbesondere bei hohen Kanalzahlen unvermeidlich, daß das Signal desjenigen Kanals, der zuletzt ausgefiltert wird, deutlich abgeschwächt wird und – da sich die Winkelfehler addieren – einen größeren Winkelfehler hat. Soll beispielsweise ein 10-Kanal-Multiplexer-/Demultiplexer mit lediglich zwei Ebenen aufgebaut werden, so muß das Signal, das als letztes separiert wird, an neun verschiedenen Filtern reflektiert werden. Bei der in den Fig. 6g bis 6k gezeigten Ausführungsform sind maximal fünf Reflexionen not-

wendig, so daß eine höhere Winkelgenauigkeit und eine geringere Signalabschwächung erzielt werden kann.

5 Zum anderen werden – wegen der durch das wellenmodifizierende Element bewirkten Frequenzaufspaltung – an die Schmalbandfilter deutlich geringere Qualitätsanforderungen gestellt, da nur ein kleinerer Wellenlängenbereich reflektiert werden muß. Dadurch können die Kosten des Aufbaus reduziert werden.

10 In den Fig. 7a bis 7e ist eine weitere Ausführungsform eines Trägerteils 1 gezeigt, das drei Auflageebenen 2, 2', 2" aufweist. Dieses Trägerteil 1 ist einstückig hergestellt. Dieses Trägerteil 1 weist an seiner einen Seite eine Art Stufe auf, die eine Auflageebene 2" für ein weiteres wellenmodifizierendes Element aufweist. In die obere Auflageebene 2 und die untere Auflageebene 2' sind jeweils eine Reihe von Durchgangsbohrungen 3 eingebracht. Diese sind mit den parallel zu den Auflageebenen 2, 2', 2" verlaufenden Kanälen 4 verbunden. Bei der gezeigten Ausführung 15 sind zwei quer zur Strahlrichtung verlaufende Kanäle 4 vorhanden, die über einen Durchbruch miteinander verbunden sind. Wie in den Fig. 7f bis 7i zu erkennen ist, werden sowohl auf die obere Auflageebene 2 als auch auf die untere Auflageebene 2' wellenmodifizierende Elemente 5 aufgelegt, die beispielsweise Schmalbandspiegel sein können. Zusätzlich wird ein wellenmodifizierendes Element 5' auf die Stufe, die die mittlere Auflageebene 2" bildet, gelegt. 20 Ein beispielhafter Strahlenverlauf ist schematisch in den Fig. 7k bis 7o gezeigt. Deutlich zu erkennen ist, daß sich die dritte Auflageebene 2" in etwa in der Mitte zwischen der oberen Auflageebene 2 und der unteren Auflageebene 2' befindet.

25 In den Abbildungen der Fig. 8a ist schematisch eine Situation gezeigt, die bei der Passivjustierung, d.h. beim Aufbringen der wellenmodifizierenden Elemente auf das Trägerteil 1 auftreten kann. Obgleich, wie im folgenden noch ausführlich beschrieben wird, die Auflageebenen 2, 2', 2" möglichst glatt gefertigt werden, kann es passieren, daß sich an der Oberfläche der Auflageebene des Trägerteils 1 oder auf der Auflagefläche des wellenmodifizierenden Elements 5 eine kleine Unebenheit 14 befindet. Diese Unebenheit 14 führt, wie in Fig. 8a in der mittleren Abbildung zu erkennen ist, dazu, daß das wellenmodifizierende Element 5 nicht eben auf der Auflageebene des Trägerteils 1 aufliegt, sondern geringfügig gegenüber diesem verkippt ist. Das wellenmodifizierende Element 5 ist somit nicht optimal justiert. Es sei an dieser Stelle betont, daß in den Abbildungen dieser Effekt übertrieben dargestellt ist. Normalerweise ist die Verkip- 30

5

Es ist daher in einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, daß das Trägerteil 1 bzw. zumindest die Auflageebene 2, 2', 2" aus einem duktilen Material besteht. In diesem Fall kann nämlich, wie in den Abbildungen der Fig. 8b dargestellt ist, für die Passivjustage des wellenmodifizierenden Elements 5 auf dem Trägerteil 1 eine Art Justierstift 15 verwendet werden, der auf die Oberseite des wellenmodifizierenden Elements 5 eine gewisse Kraft ausübt. Da das Trägerteil 1 aus einem duktilen Material hergestellt ist, führt dies, wie in den mit X und Y bezeichneten Vergrößerungen deutlich zu erkennen ist, dazu, daß sich die lokale Unebenheit 14 in das duktile Material durch plastische oder elastische Verformung desselben eindrückt. Was dazu führt, daß das wellenmodifizierende Element 5 optimal justiert ist.

Sobald das wellenmodifizierende Element 5 korrekt positioniert ist, kann es mit Hilfe eines Klebstoffes auf dem Trägerteil 1 fixiert werden, indem der Klebstoff das wellenmodifizierende Element 5 umgebend an der Verbindungsstelle zwischen wellenmodifizierendem Element 5 und Trägerteil 1 aufgebracht wird. Dabei wird mit Vorteil während des Klebevorgangs der durch den Justagefinger 15 aufgebrachte Druck beibehalten, um zu verhindern, daß Klebstoff zwischen wellenmodifizierendes Element und Trägerteil 1 fließt und dadurch das wellenmodifizierende Element 5 möglicherweise aufschwemmt, so daß die exakte Justierung verlorengeht oder auf der Filteroberfläche zu liegen kommt, was den Strahlendurchgang in nachteiliger Weise beeinflussen kann.

Eine alternative Ausführungsform der Auflageebene ist in den Abbildungen der Fig. 9a gezeigt. Rund um die durch die Durchgangsbohrungsbohrung 3 gebildete Öffnung 3 in der Auflageebene sind, wie insbesondere in der mit Y bezeichneten Vergrößerung zu erkennen ist, eine Reihe von Auflageelementen 16 vorgesehen. Dadurch wird die Auflagefläche reduziert und die Wahrscheinlichkeit, daß eine sich entweder an der Oberseite des Trägerteils 1 oder an der Unterseite des wellenmodifizierenden Elements 5 befindliche Verunreinigung zu einer Verkipfung des wellenmodifizierenden Elements gegenüber der Auflageebene des Trägerteils 1 führt, wird deutlich herabgesetzt. Bei dieser Ausführungsform wird daher die Auflageebene nur durch die Auflageelemente 16 gebildet.

Um eine optimale Passivjustierung zu ermöglichen, ist es möglich die Auflageflächen der wellenmodifizierenden Elementen vor der Montage zu überprüfen und nur solche wellenmodifizierenden Elemente auszuwählen, die keinerlei Unebenheiten aufweisen. Bei der Ausführungsform mit den Auflageelementen 16 kann die Kontrolle der Oberfläche der wellenmodifizierenden Elemente auf diejenigen Flächenbereiche beschränkt werden, die mit den Auflageelementen in Kontakt treten sollen. Dies führt zu einer Abkürzung des Kontrollvorgangs und darüber hinaus

wird der Anteil der aufgrund von Unebenheiten nicht verwendbaren wellenmodifizierenden Elementen reduziert.

5 Darüber hinaus sind die Auflageelemente 16 mit Vorteil derart angeordnet, daß das wellenmodifizierende Element nicht mit einer seiner Kanten auf dem Auflageelement 16 aufliegt. Die wellenmodifizierenden Elemente weisen häufig ein gesägtes Substrat auf, so daß es an den Kanten zu einer Gratbildung oder zu Ausbrüchen kommen kann, so daß das wellenmodifizierende Element häufig gerade an den Kanten uneben ist. Ein wellenmodifizierendes Element mit einer Gratbildung an der Kante kann bei der gezeigten Anordnung der Auflageelemente ohne Nach-
10 teil verwendet werden.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform ist in der Figur 9 c gezeigt. Hier wird die Auflageebene durch ein im wesentlichen ringförmiges Auflageelement 16 gebildet, welches die Öffnung wulstartig umgibt. Bei aufgesetztem wellenmodifizierenden Element 5 wird daher die Öffnung 3
15 abgedichtet.

Dadurch wird die Befestigung des wellenmodifizierenden Elements 5 auf den Öffnungen 3 vereinfacht, da Klebstoff verwendet werden kann, ohne daß die Gefahr besteht, daß dieser in die Öffnungen 3 fließt und die wellenmodifizierenden Elemente 5 aufschwemmt oder in den Strahlengang gerät.
20

In den Fig. 10a bis 10d ist das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren für ein Trägerteil 1 dargestellt. In das Trägerteil 1 werden zunächst die Durchgangsbohrungen und gegebenenfalls die parallel zu den Auflageebenen verlaufenden Kanäle, wie z. B. eine Frästasche, eingebracht.
25 Dann wird das Trägerteil 1 derart am Umfang einer Drehmaschine montiert, daß die herzustellenden Auflageebenen 2, 2', 2" senkrecht zu der Drehachse des rotierenden Teils der Drehmaschine verlaufen. Wird nun die Drehmaschine 17 in Rotation versetzt, so können in einer einzigen Aufspannung die beiden Werkzeughalter 18 derart zu dem Trägerteil 1 zugeführt werden, daß die planparallelen Auflageebenen 2, 2', 2" gedreht werden können. Dadurch, daß alle Auflageebenen in einer einzigen Aufspannung hergestellt werden, wird die Genauigkeit deutlich
30 erhöht.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird auch zumindest eine Anschlagfläche zumindest eines Distanzelementes in der selben Aufspannung hergestellt. Dies ist prinzipiell bei allen gezeigten Ausführungsformen möglich. So
35 könnten die beispielsweise in Figur 4 b gezeigten Stifte vor der Herstellung der Anschlagfläche

in die Bohrungen 10 eingesetzt und fixiert werden, z.B. mittels Klebstoff oder durch eine Preßpassung. Bei der Herstellung der parallelen Auflageebenen können dann die Anschlagflächen der Distanzelemente ebenfalls hergestellt werden.

- 5 Bei der beispielsweise in Figur 5a gezeigten Ausführungsform können ebenfalls die Anschlagflächen und die Auflageebenen in einer Aufspannung hergestellt werden. Soll ein ebenes Distanzelement verwendet werden, so ist dies gegebenenfalls mehrteilig auszubilden um den Zugriff des Drehwerkzeuges auf die Auflageebenen zu gewährleisten.
- 10 In der Fig. 11 ist eine erste beispielhafte Anwendung des erfindungsgemäßen Trägerteils gezeigt. Diese Anwendung entspricht im wesentlichen der bereits in Verbindung mit den Fig. 6 und 7 erläuterten Anwendung. Gezeigt ist ein 8-Kanal-Multiplexer-/Demultiplexer-System mit einem Bandfilter.
- 15 In Fig. 12 ist eine zweite Anwendung dargestellt. Hier ist zusätzlich ein wellenmodifizierendes Element 5" vorgesehen, das bereits für eine Bandseparation sorgt, so daß dieses System leicht erweitert werden kann.
- In Fig. 13 ist ein 16-Kanal-Multiplexer-/Demultiplexersystem mit drei Bandfiltern dargestellt. Hier
20 werden insgesamt fünf parallele Ebenen verwirklicht.

Fig. 14 zeigt einen 4x4-Koppler mit fünf 50%-Filtern. Die Anordnung ist aus fünf wellenmodifizierenden Elementen 5"', die hier als 50%-Filter ausgebildet sind, aufgebaut. Ein 50%-Filter reflektiert etwa 50% des einfallenden Lichts und läßt die verbleibenden 50% transmittieren. Es werden vier Eingangssignale über die vier Eingänge E_1 , E_2 , E_3 und E_4 in die Anordnung eingekoppelt. Der bei E_1 eingekoppelte Lichtstrahl trifft zunächst auf das in der Figur links unten angeordnete 50%-Filter. Dort werden 50% der ursprünglichen Intensität reflektiert, während 50% des Signals transmittieren und die Anordnung ungenutzt verlassen. Der reflektierte Strahl trifft auf den in der Mitte angeordneten 50%-Filter, an dem wieder nur 50 % des Signals transmittieren, während die anderen 50% des Signals reflektiert werden. Der transmittierte Strahl, der etwa 25 % der ursprünglichen Intensität hat, trifft nun auf den rechts oben in der Figur angeordneten 50%-Filter, wo wiederum die Hälfte des Signals transmittiert, d.h. über den Ausgang A_1 die Anordnung verläßt, und die andere Hälfte reflektiert wird, d. h. die Anordnung über den Ausgang A_4 verläßt. In ähnlicher Weise trifft der an dem mittleren 50%-Filter reflektierte Strahl auf das rechts unten angeordnete 50%-Filter, wo die Hälfte des Signal transmittiert, d. h. die Anordnung über den Ausgang A_3 verläßt, und die andere Hälfte reflektiert wird, d. h. die Anordnung

über den Ausgang A_2 verläßt. Mit anderen Worten wird das Signal, das bei E_1 die Anordnung verläßt auf die vier Ausgänge A_1 , A_2 , A_3 und A_4 aufgeteilt, wobei jedoch bereits beim Auftreffen auf das erste 50% Filter die Hälfte der Intensität verloren geht. Man kann sich anhand der Figur verdeutlichen, daß dies auch für über die anderen Eingänge eingegebenen Signale gilt.

5 Der 4x4 Koppler addiert somit zunächst die über die 4 Eingänge ankommenden Signale und verzweigt die Summe dann mit jeweils gleicher Intensität auf die 4 Ausgänge (4x4 Sternkoppler).

Fig. 15 zeigt schließlich einen 1x8-Verzweiger mit 50%-Filtern. Hier werden insgesamt fünf Ebenen benötigt. Dabei wird ein von in der Figur von links unten kommender Lichtstrahl durch die
10 50%-Filter, die jeweils etwa 50% des Lichts (nahezu wellenlängenunabhängig) reflektieren und die anderen 50 % transmittieren lassen. Dadurch wird das eingestrahlte Licht auf 8 Ausgänge verteilt, die jeweils etwa ein Achtel der eingestrahlten Lichtintensität aufweisen.

Bezugszeichenliste

	1	Trägerteil
	2, 2', 2"	Auflageebenen
5	3	Durchgangsbohrungen
	4	Kanal
	5, 5', 5", 5'''	wellenmodifizierende Elemente
	6	Distanzelement
	7	Kopplungsvorrichtung
10	8	Glasfaser
	9	Fuß der Kopplungsvorrichtung
	10	Bohrungen
	11	schmaler Abschnitt
	12	Kopf
15	13	Ausnehmung
	14	Unebenheit
	15	Justierstift
	16	Auflageelemente
	17	Drehmaschine
20	18	Werkzeughalter

Patentansprüche

1. Trägerelement zur Aufnahme von mindestens zwei wellenmodifizierenden Elementen (5, 5', 5'') mit parallel zueinander angeordneten Auflageebenen (2, 2', 2''), dadurch gekennzeichnet, daß die Auflageebenen (2, 2', 2'') jeweils mindestens eine Öffnung haben, wobei die Öffnungen über mindestens eine Durchgangsbohrung (3) miteinander verbunden sind.
5
2. Trägerteil (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es einstückig ausgebildet ist.
10
3. Trägerteil nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein, vorzugsweise mehrere wellenmodifizierende Elemente (5, 5') derart auf einer Auflageebene (2, 2', 2'') aufliegen, daß eine Öffnung (3) zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig durch je ein oder mehrere wellenmodifizierende Elemente verdeckt ist.
15
4. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Auflageebene (2, 2', 2'') eine Öffnung zum Ein- und/oder Auskoppeln eines Lichtsignals aufweist.
20
5. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Auflageebene (2, 2', 2'') mindestens zwei Öffnungen aufweist und eine Öffnung der anderen Auflageebene (2') auf der Mittensenkrechten auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Öffnungen der ersten Auflageebene (2) liegt.
25
6. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen durch kreisförmige Bohrungen, Langlöcher oder Ausnehmungen gebildet sind.
7. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen durch im wesentlichen senkrecht zu den Auflageebenen (2, 2', 2'') verlaufende Bohrungen (3) gebildet werden, die sich in einen im wesentlichen parallel zu den Auflageebenen verlaufenden Kanal (4) erstrecken, wobei der Kanal (4) vorzugsweise als kreisförmige Bohrung ausgebildet ist.
30

8. Trägerteil nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das wellenmodifizierende Element (5, 5') mit einem Haftmittel, vorzugsweise Klebstoff, auf der Auflageebene (2, 2', 2'') befestigt ist.
- 5 9. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß es aus duktilem Material hergestellt ist.
- 10 10. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß es aus Stahl, Eisen, Kupfer, Neusilber, Silber, Gold, Messing, Kunststoff, vorzugsweise aus POM oder PEEK, hergestellt ist.
11. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Auflageebene (2) auf der einer anderen Auflageebene (2') abgewandten Seite ein Distanzelement (6) aufweist.
- 15 12. Trägerteil nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Distanzelement (6) zwei parallel zueinander verlaufende Anschlagsflächen hat.
- 20 13. Trägerteil nach Anspruch 11 oder 12, soweit von Anspruch 3 oder einem hierauf rückbezogenen Anspruch abhängig, dadurch gekennzeichnet, daß das Distanzelement (6) einen Durchgang auf der der Auflageebene (2, 2') zugewandten Seite hat, in dem das wellenmodifizierende Element (5, 5') angeordnet ist.
- 25 14. Trägerteil nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Distanzelement (6) aus einer Präzisionsfolie besteht.
15. Trägerteil nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Distanzelement (6) aus mindestens einem Stift besteht, der sich durch beide Auflageebenen (2, 2') erstreckt.
- 30 16. Trägerteil nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Distanzelement (6) von zumindest zwei Stiften gebildet wird, wobei die Stifte vorzugsweise eine unterschiedliche Länge haben und/oder aus unterschiedlichem Material bestehen, wobei der Längenunterschied und/oder die Materialauswahl so gewählt ist, daß eine relative Bewegung einer an dem Trägerteil fixierten Kopplungsvorrichtung gegenüber dem Trägerteil in Folge einer Temperaturschwankung zumindest teilweise kompensiert wird.
- 35

17. Trägerteil nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß Distanz-
element (6) und Trägerteil (2) einstückig ausgebildet sind.
- 5 18. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß mindes-
tens drei zueinander parallele Auflageebenen (2, 2', 2'') vorgesehen sind.
19. Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest
ein wellenmodifizierendes Element ein Schmalbandspiegel ist.
- 10 20. Multiplexer/Demultiplexer mit einem Trägerteil nach einem der Ansprüche 1 bis 19.
21. Strahlteiler, Verzweiger und/oder Koppler mit einem Trägerteil nach einem der Ansprü-
che 1 bis 19.
- 15 22. Verfahren zur Herstellung eines Trägerteils zur Aufnahme von mindestens zwei wellen-
modifizierenden Elementen, das die Schritte aufweist:
Auswählen eines Materialblocks mit einer ersten und einer zweiten Fläche,
Einbringen eines oder mehrerer Durchgänge bzw. Durchgangsbohrungen, die in Öff-
nungen in der ersten und/oder zweiten Fläche münden, so daß die Durchgänge die ers-
te und die zweite Fläche miteinander verbinden, und
20 Herstellen von zumindest zwei parallel zueinander verlaufenden Auflageebenen, wobei
die eine Auflageebene auf der ersten Fläche und die andere Auflageebene auf der zwei-
ten Fläche angeordnet ist.
- 25 23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Auflageebenen nach
dem Einbringen der Durchgänge hergestellt werden.
24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Auflageebenen
mit einer einer gemittelten Rauhtiefe R_z (nach DIN 4768) von kleiner als 100 nm, vor-
zugsweise kleiner als 50 nm, besonders bevorzugt kleiner als 20 nm, hergestellt werden.
- 30 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Auf-
lageebene mit einem spanabhebenden Verfahren, vorzugsweise durch Ultrapräzisions-
bearbeitung, besonders bevorzugt durch Diamantdrehen oder Diamantfräsen hergestellt
35 wird.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Auflageebene durch ein Drehverfahren hergestellt wird, wobei der Materialblock derart auf dem Umfang einer sich drehenden Vorrichtung eingespannt wird, daß die herzustellenden Auflageebenen senkrecht zur Drehachse der sich drehenden Vorrichtung orientiert sind.
27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß alle Auflageebenen in einer Aufspannung hergestellt werden.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kanal, der vorzugsweise in etwa parallel zu den Auflageebenen verläuft, eingebracht wird, wobei der Kanal vorzugsweise als Bohrung ausgebildet wird.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Distanzelement mit zumindest einer Anschlagfläche angebracht wird.
30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Anschlagfläche des Distanzelements in einer Aufspannung zusammen mit den Auflageebenen hergestellt wird.
31. Verfahren zur Herstellung eines optischen Modifizierers, das die Schritte aufweist:
Herstellen eines Trägerteils mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 29,
Auflegen zumindest eines wellenmodifizierenden Elements auf eine Auflageebene,
Fixierung des wellenmodifizierenden Elements auf der Auflageebene.
32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Fixierung mit einem Haftmittel, vorzugsweise Klebstoff, erfolgt.

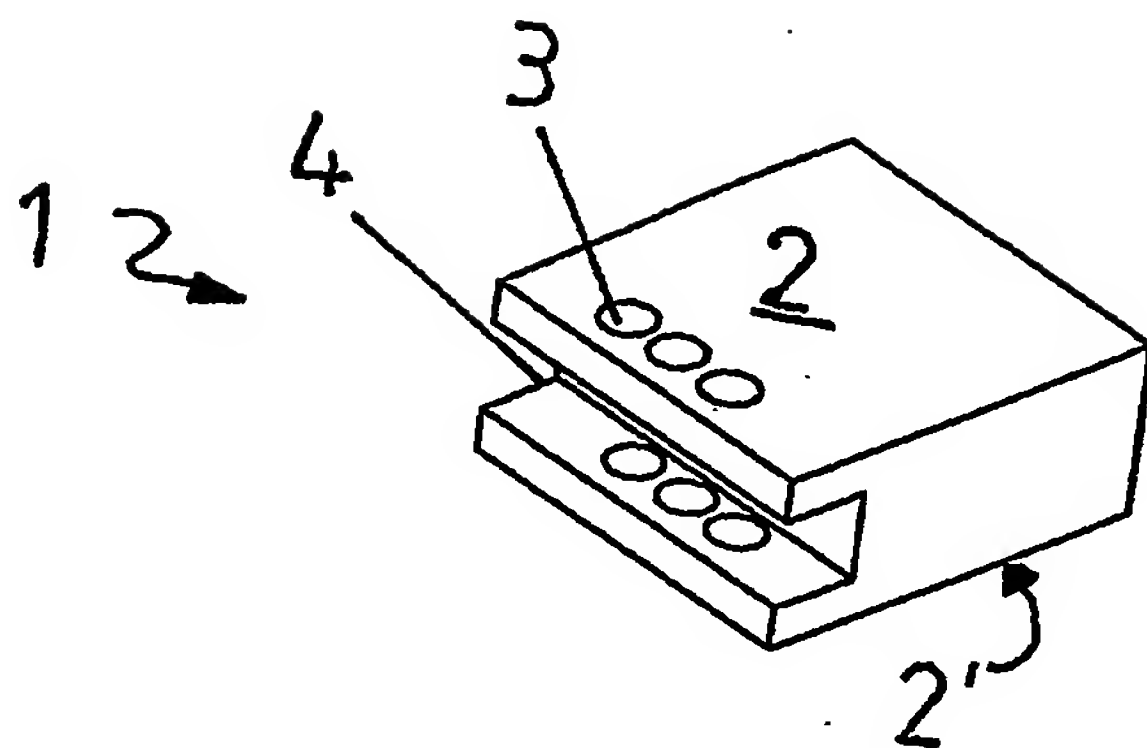


Fig. 1a

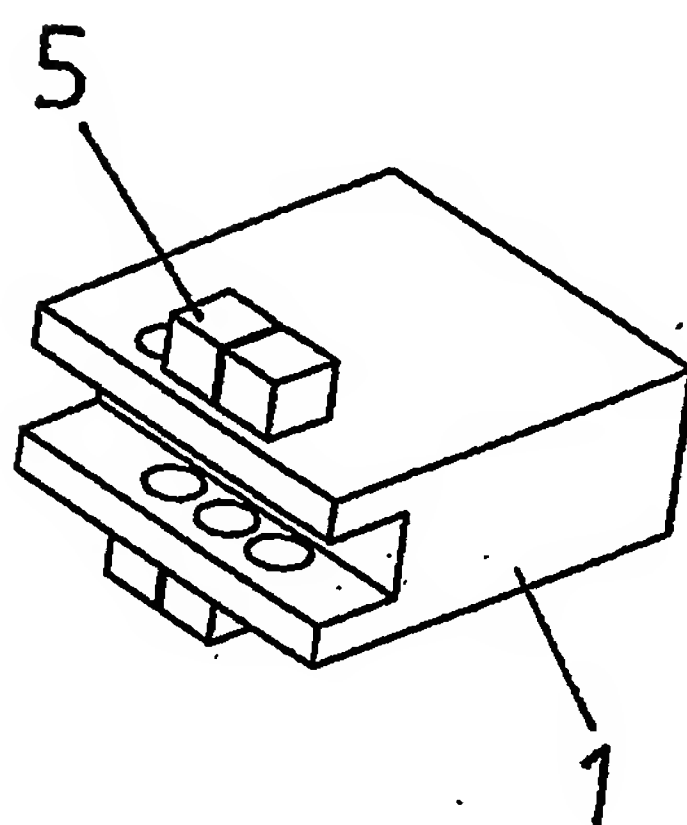


Fig 1b

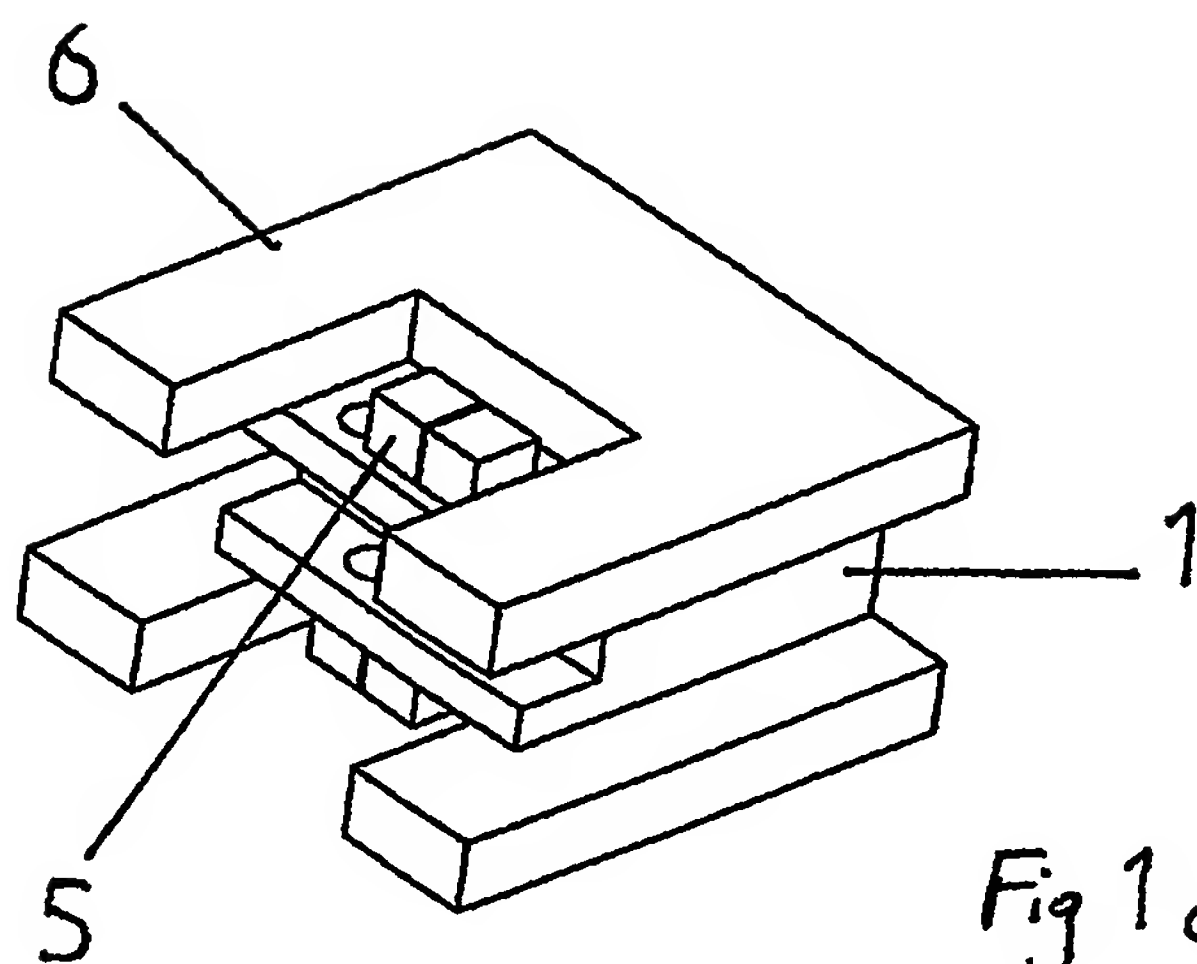


Fig 1c

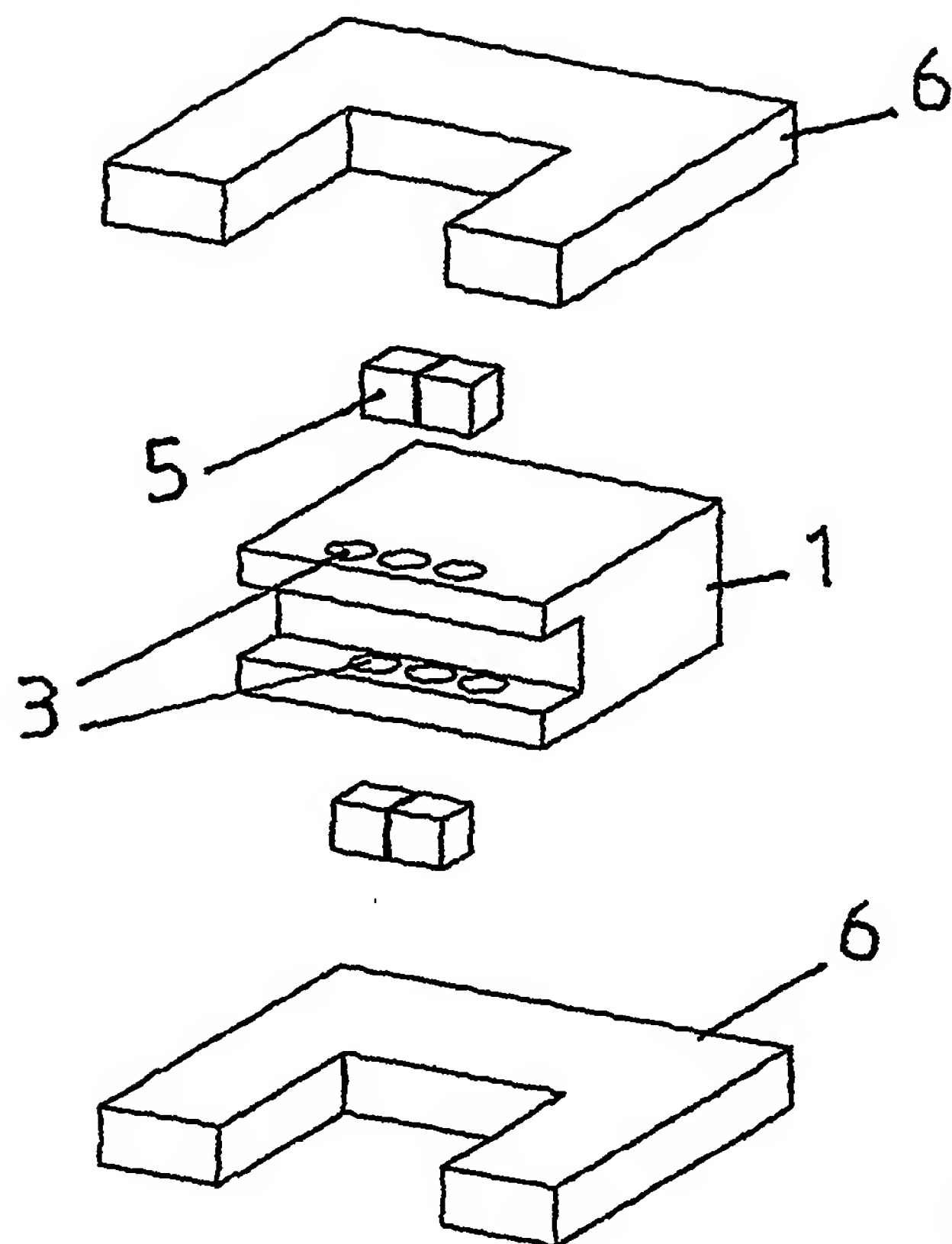


Fig 1d

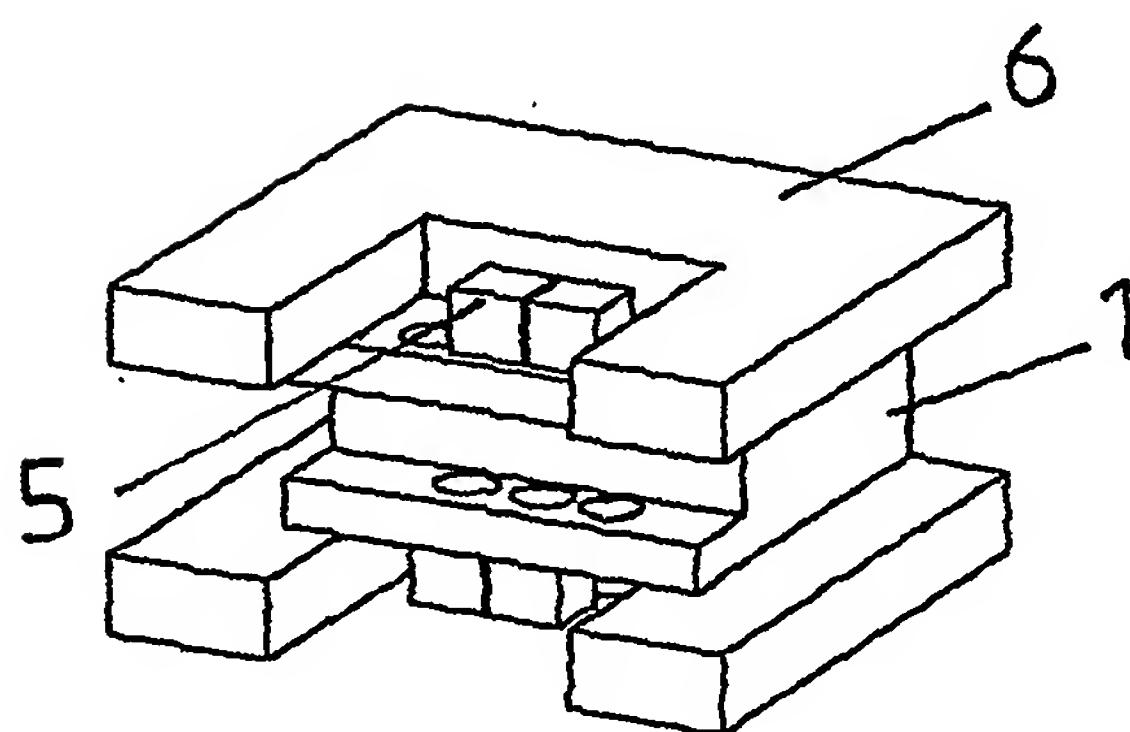


Fig 1e

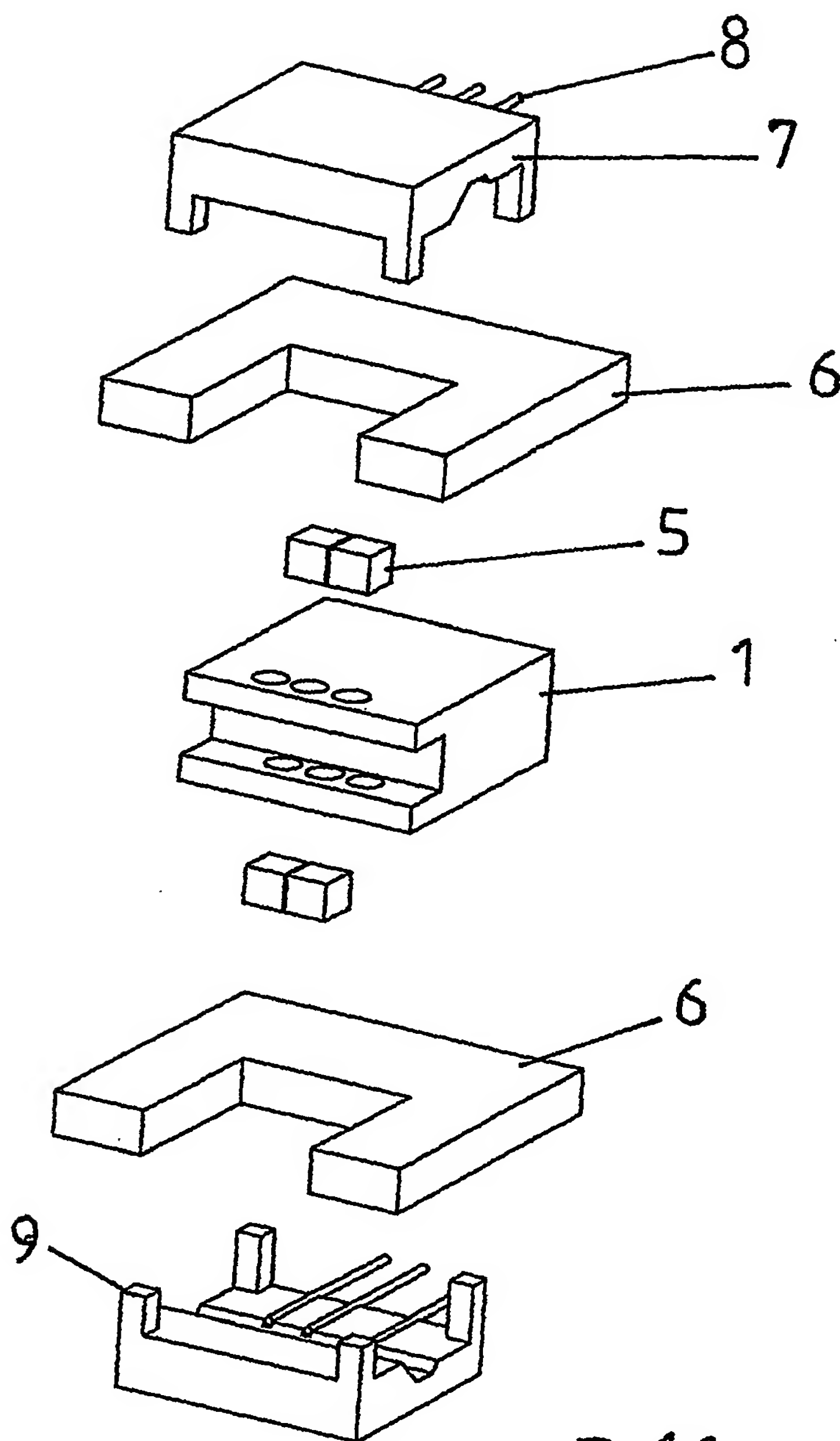


Fig 1f

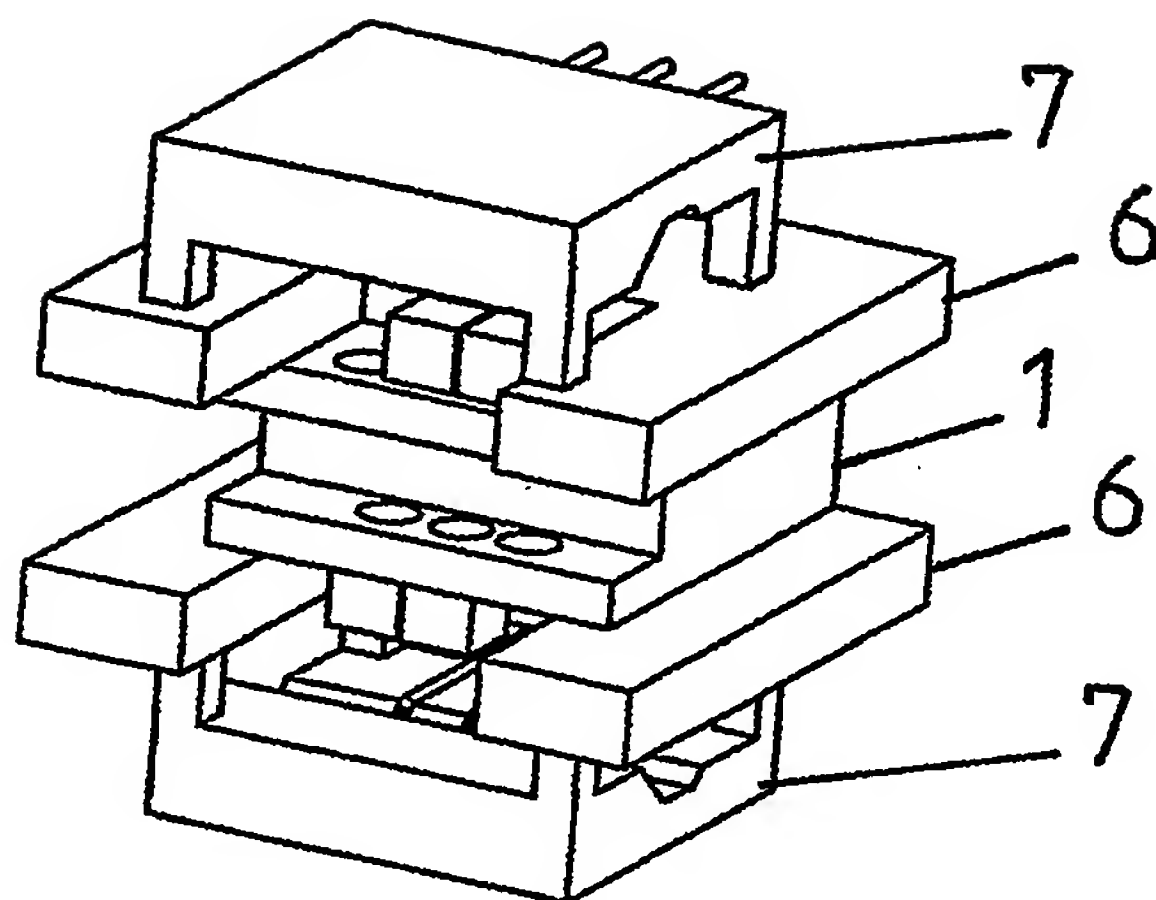


Fig 1g

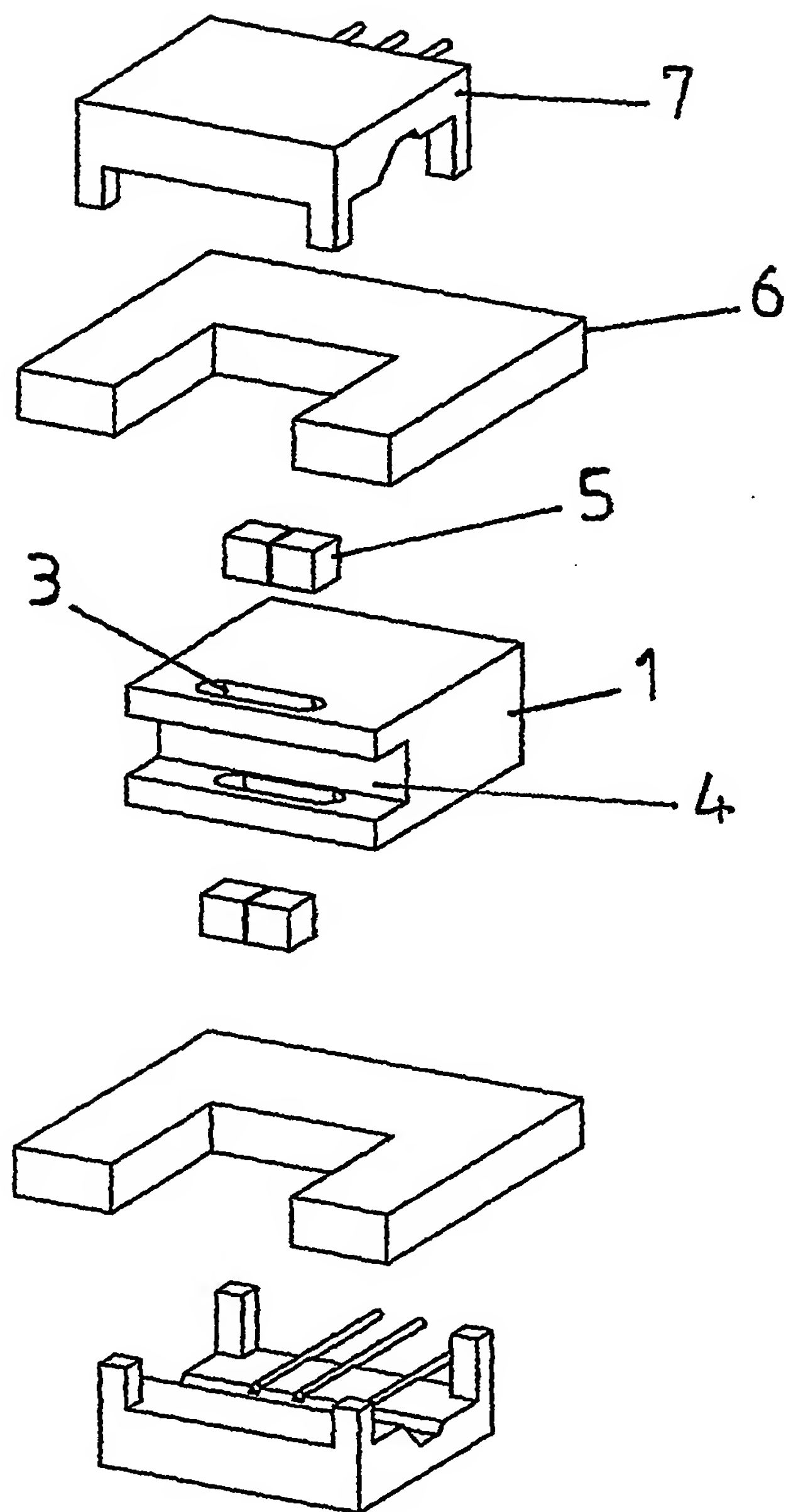


Fig. 2a

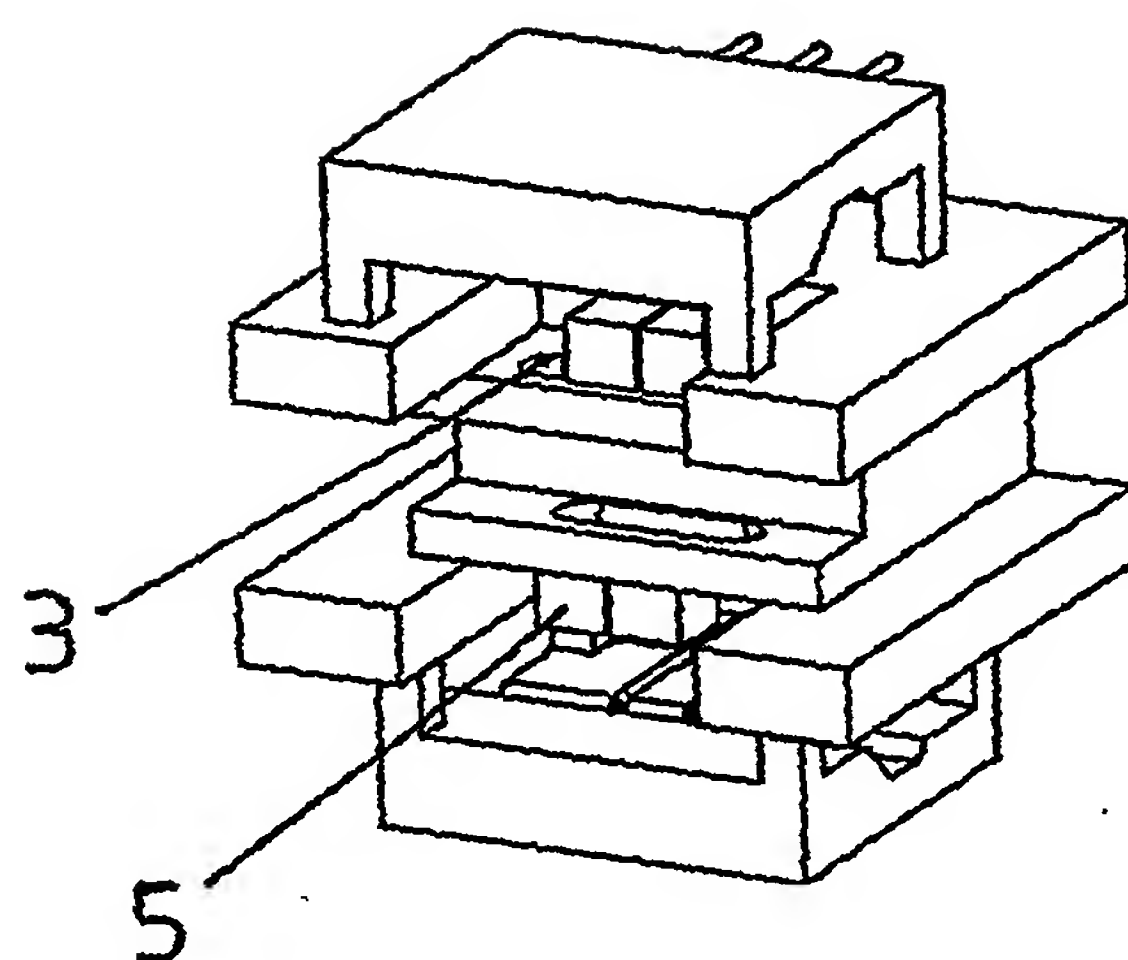
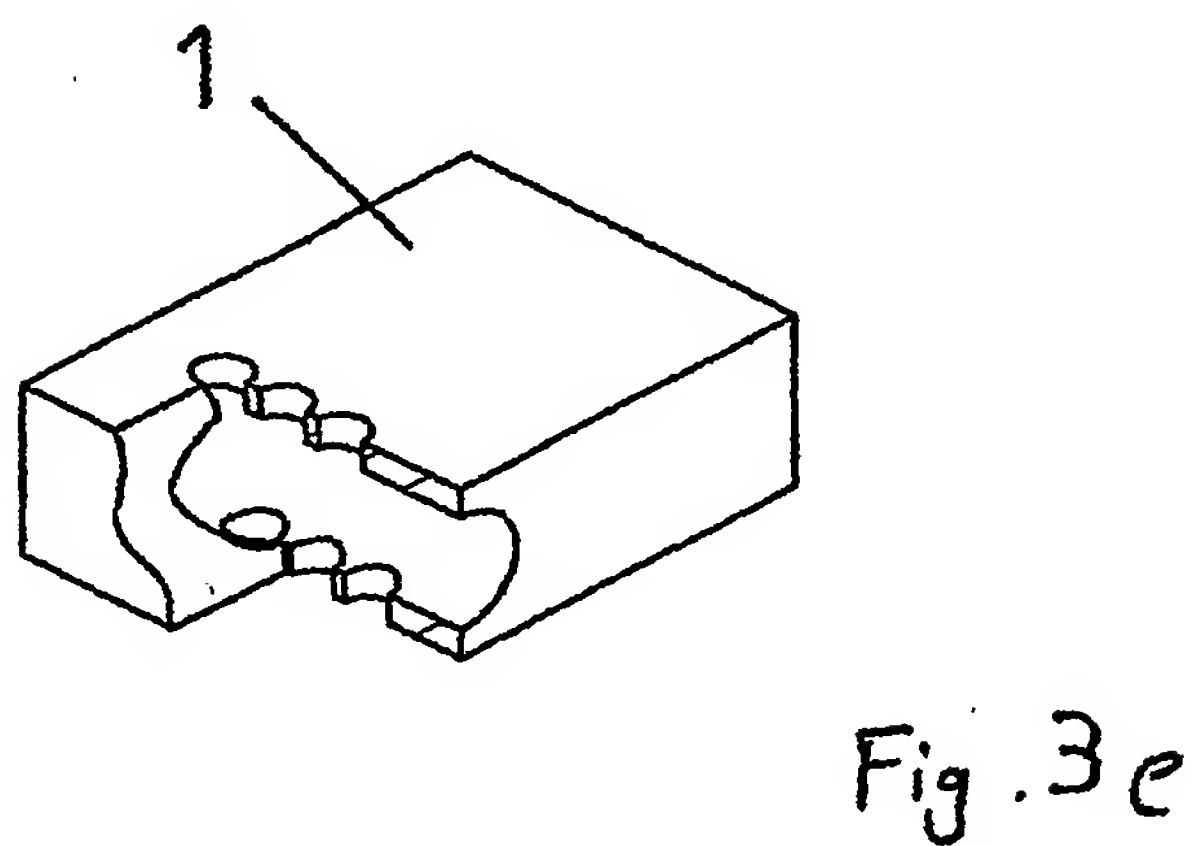
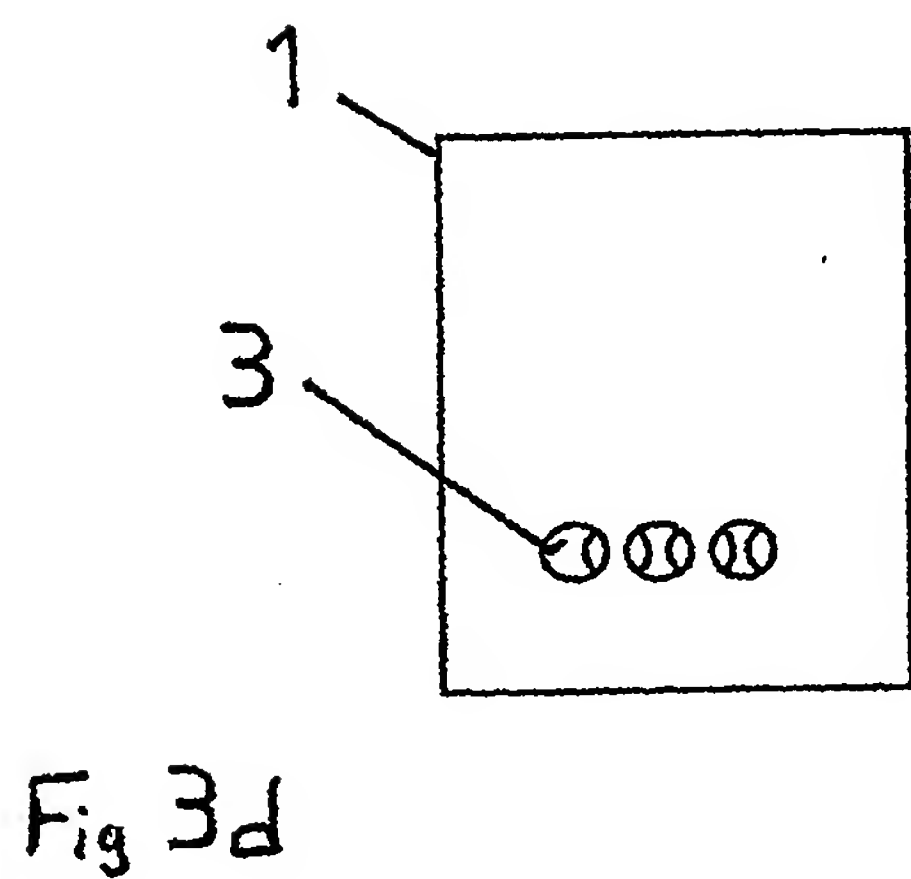
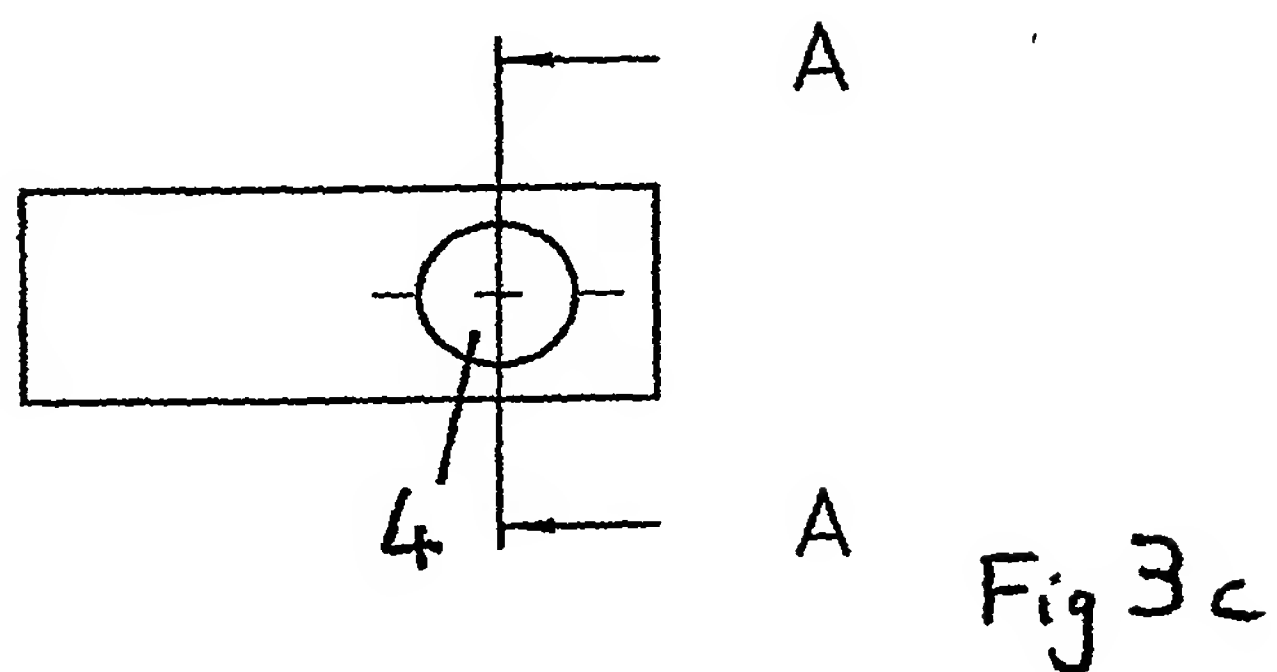
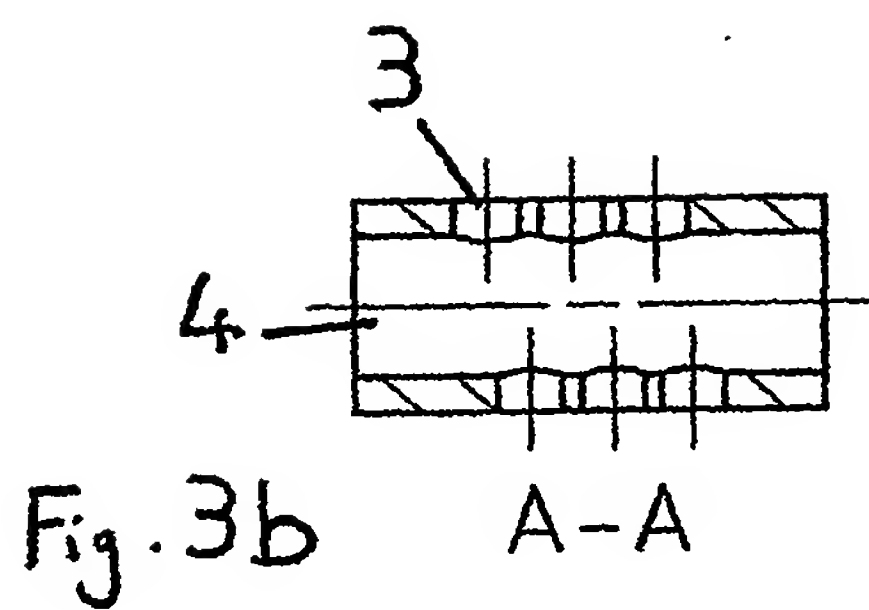
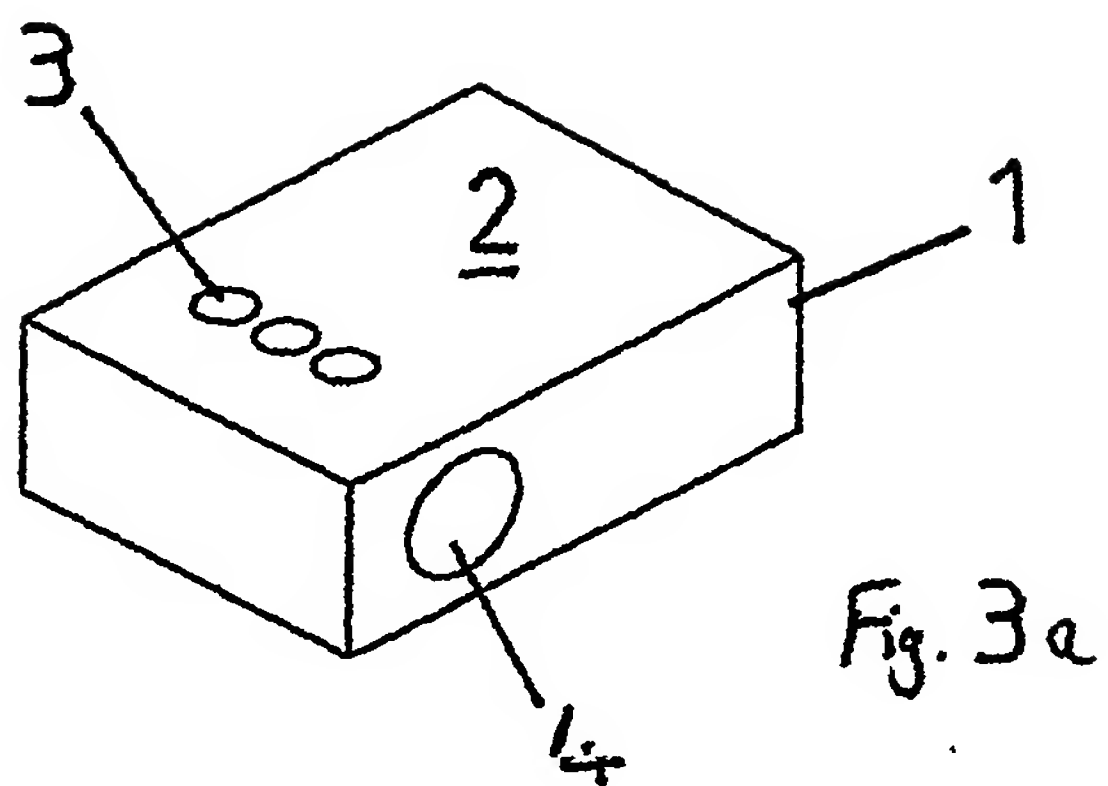


Fig 2b



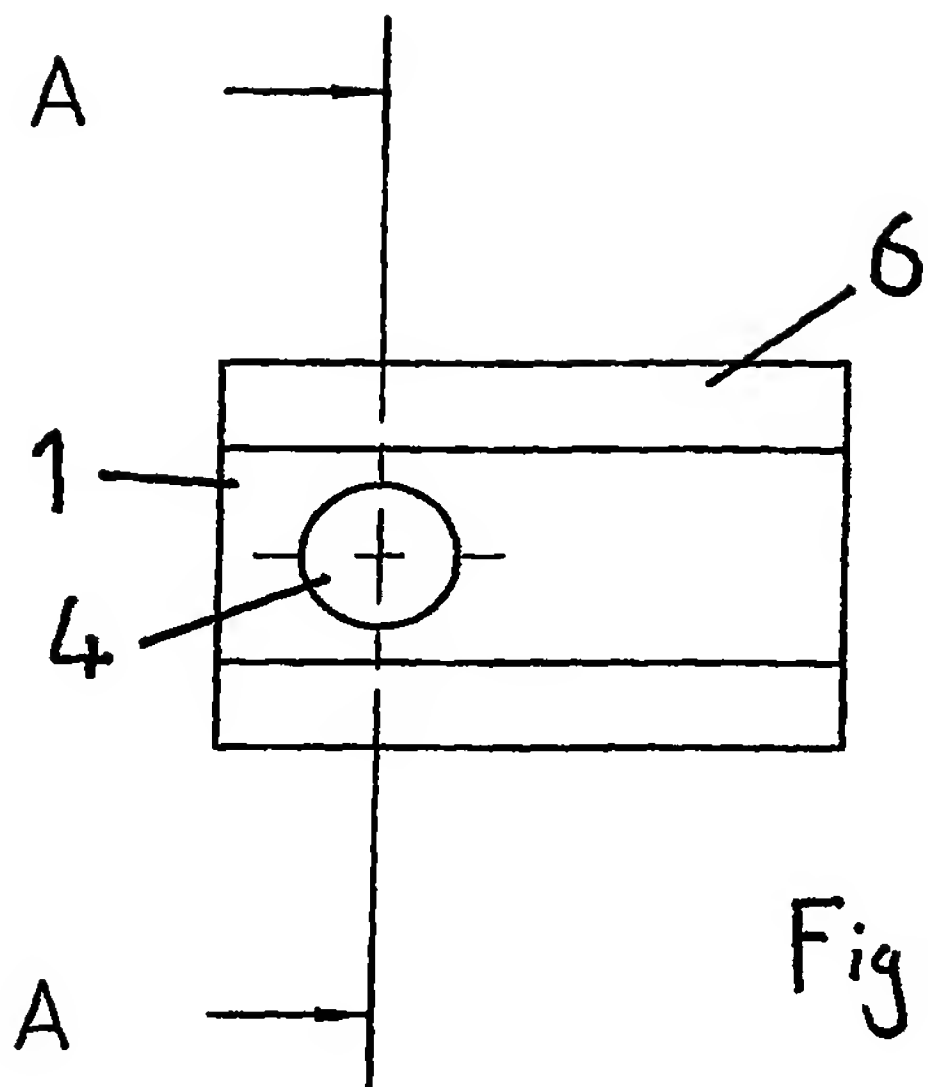


Fig 3f

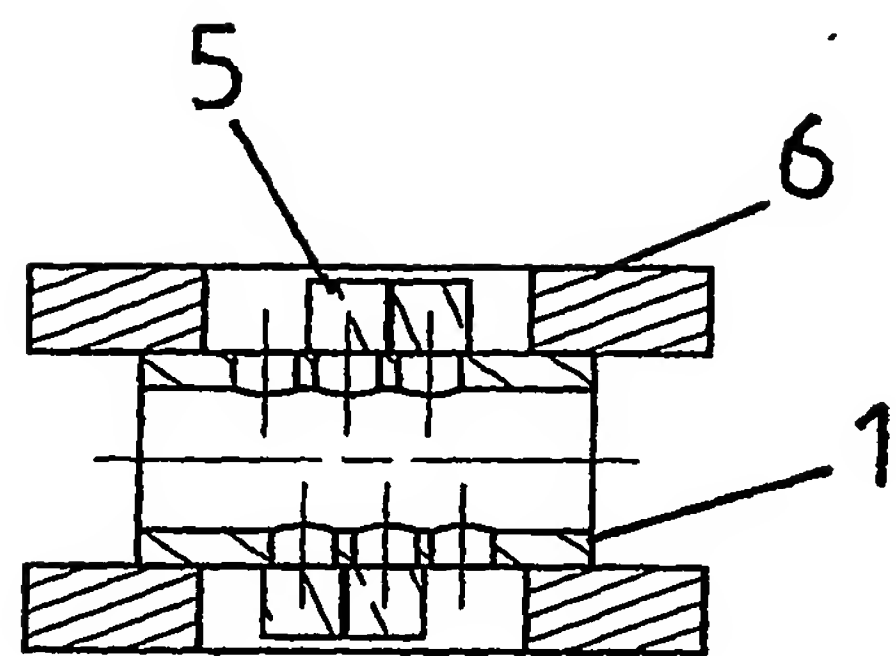


Fig. 3g

A-A

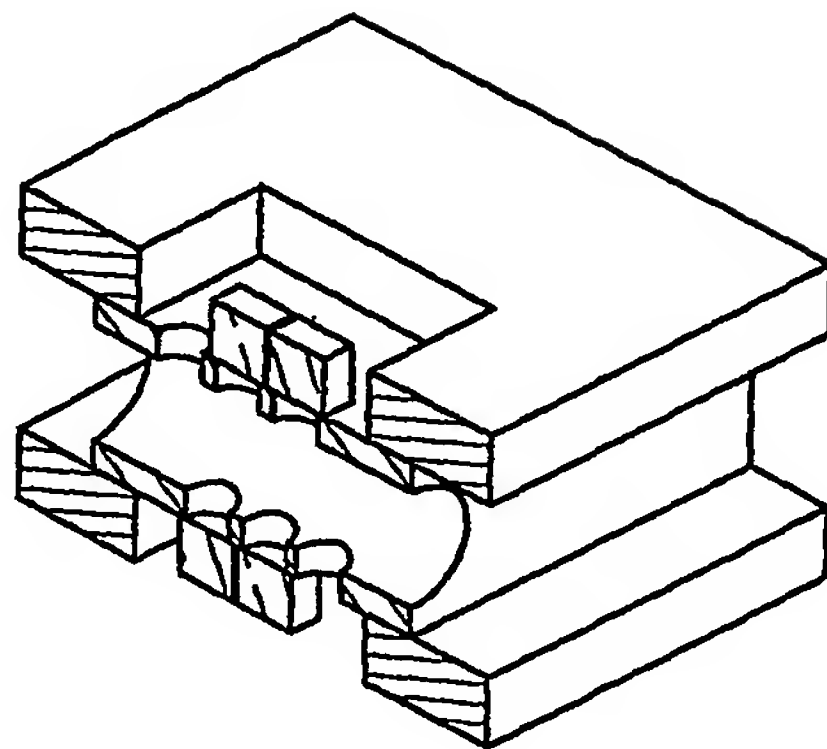


Fig. 3h

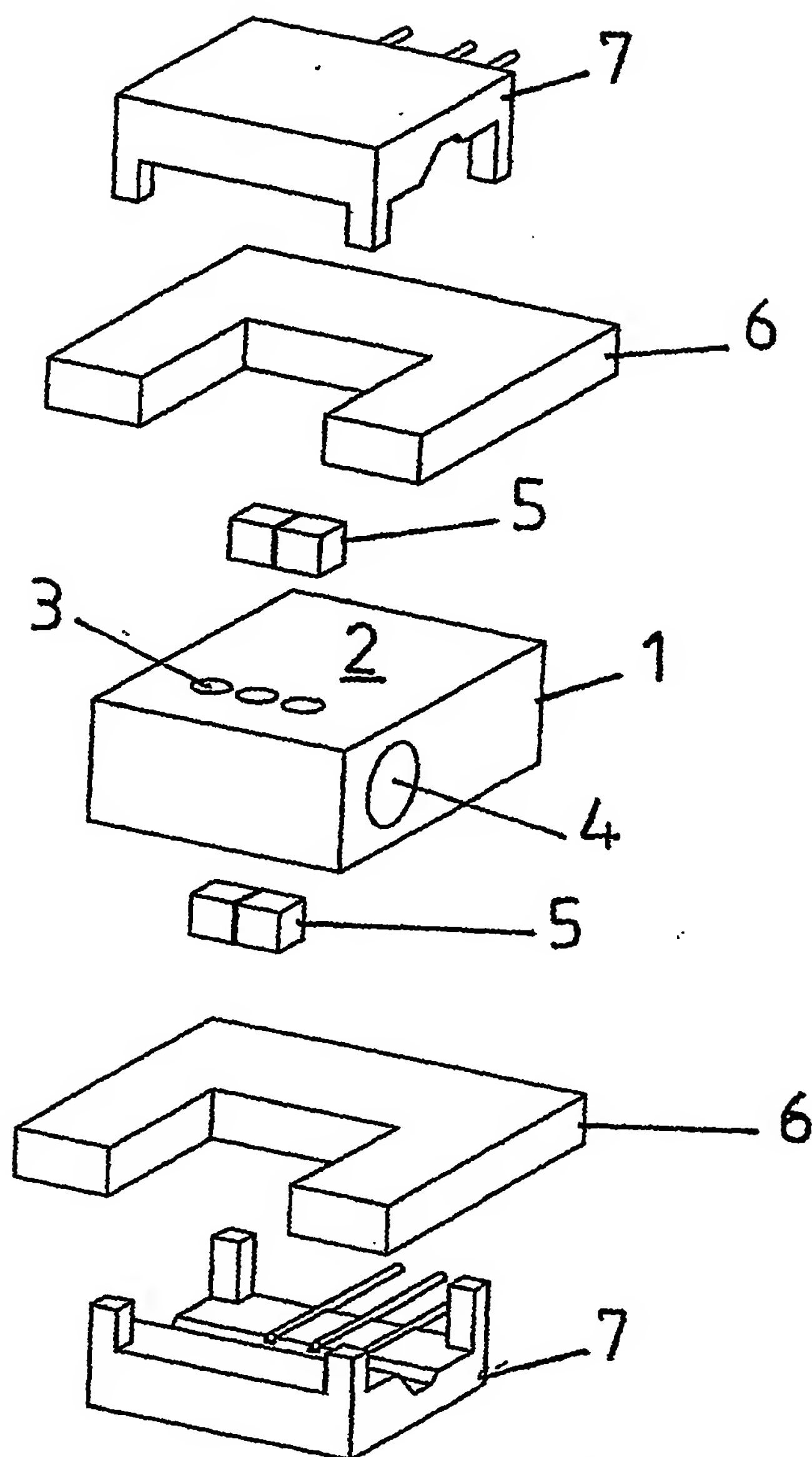


Fig. 3i

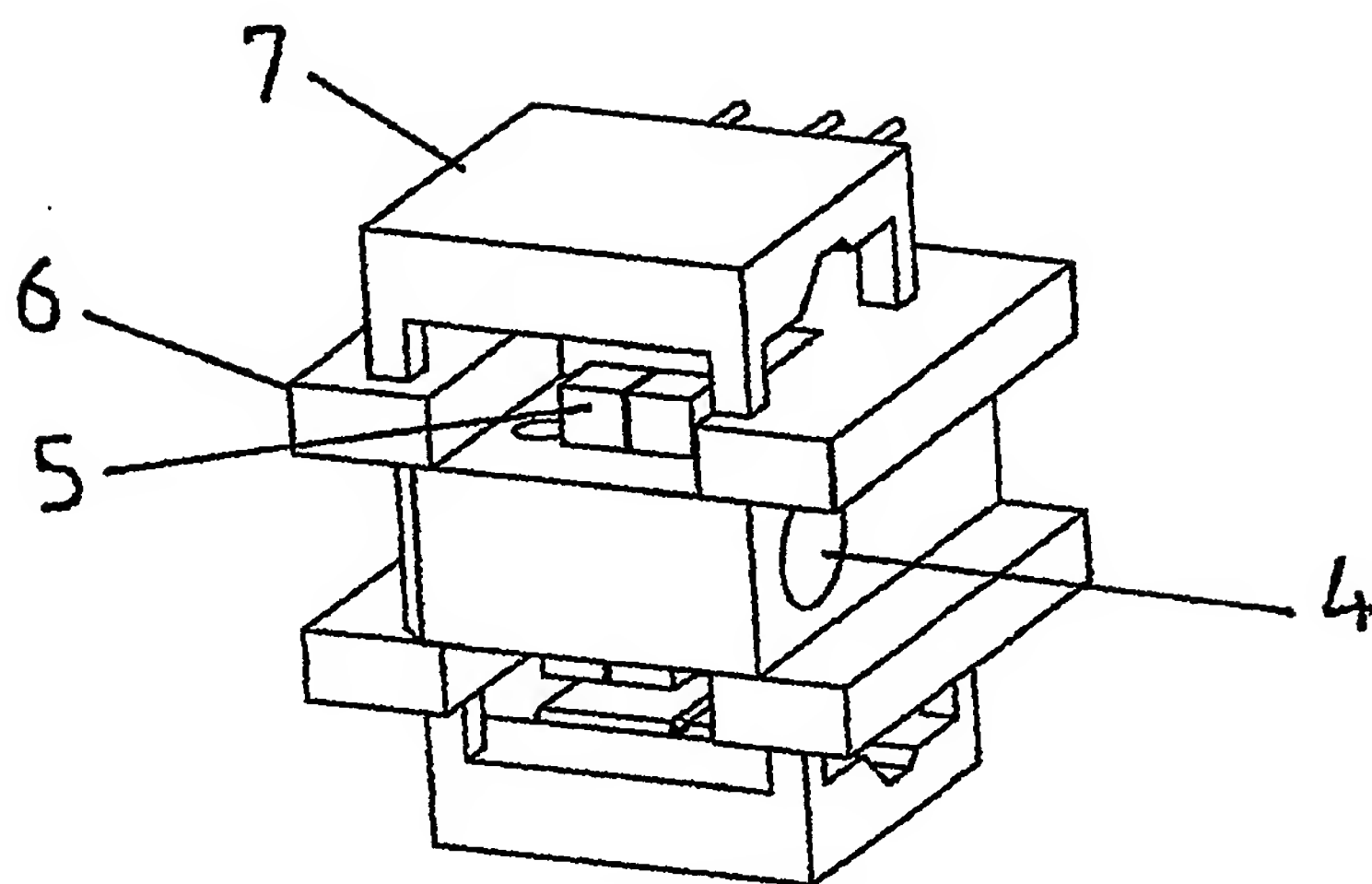


Fig. 3K

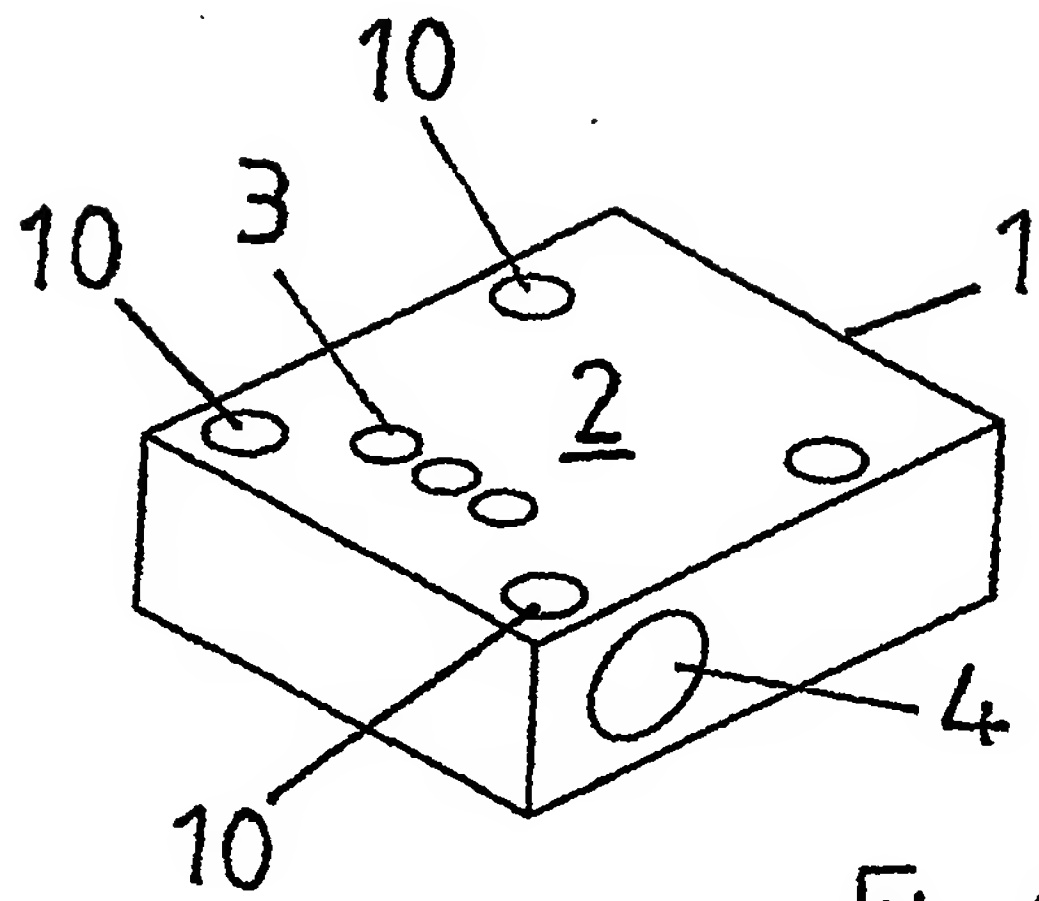


Fig. 4a

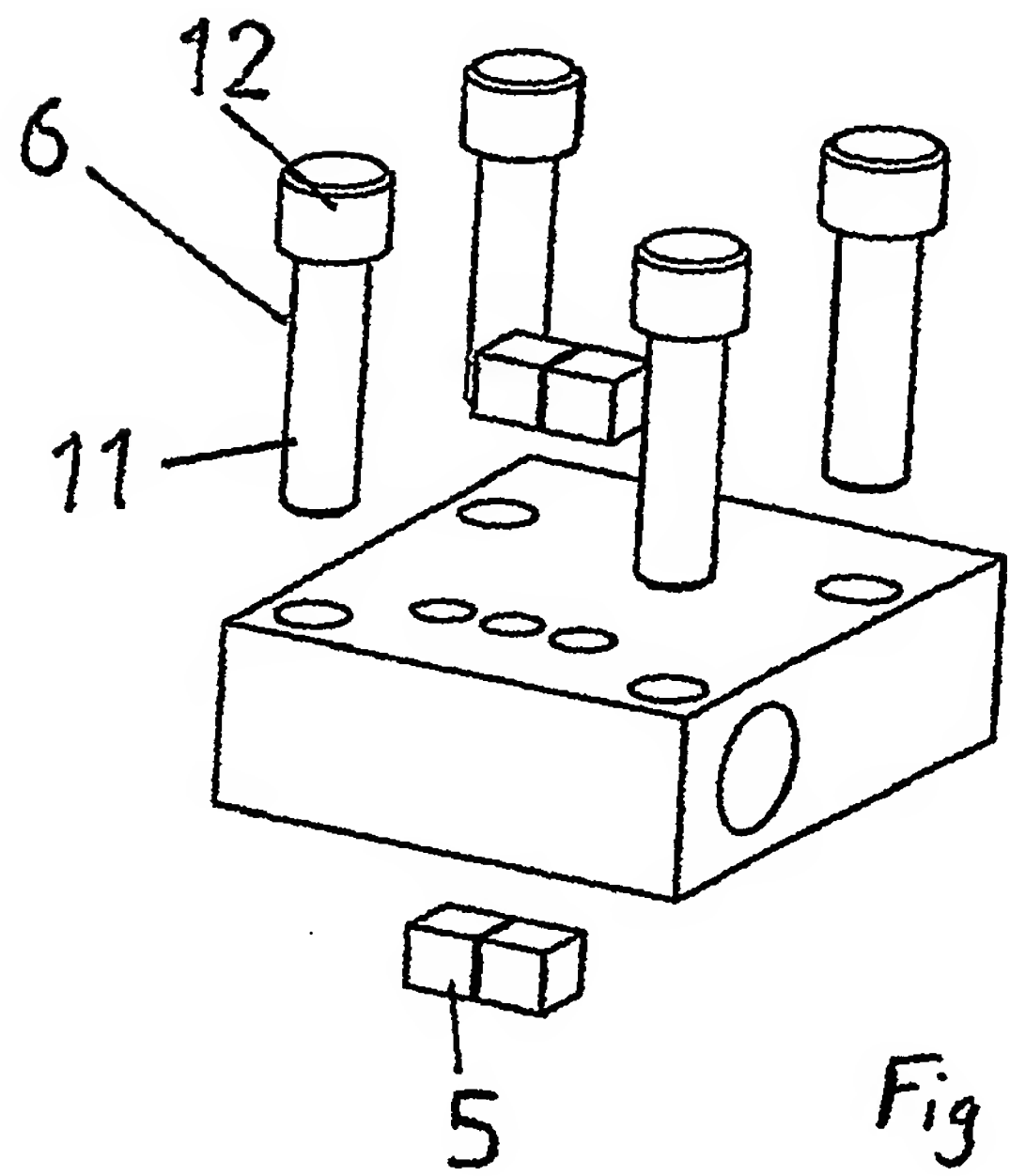


Fig. 4b

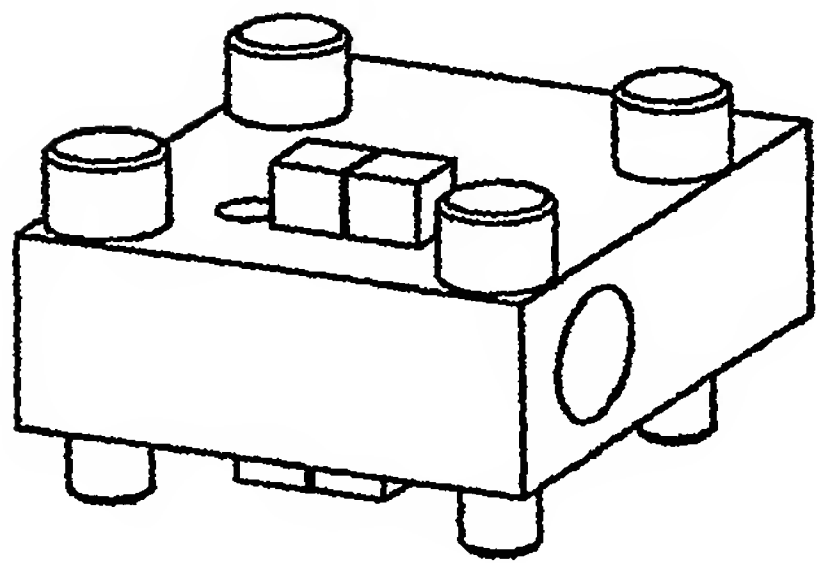
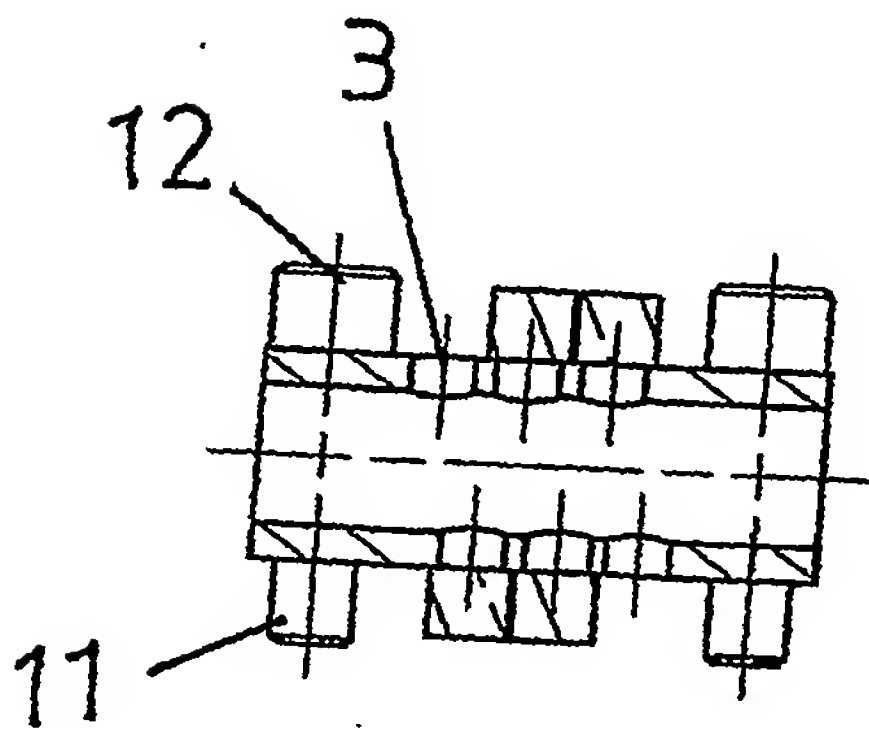


Fig. 4c



A-A

Fig. 4e

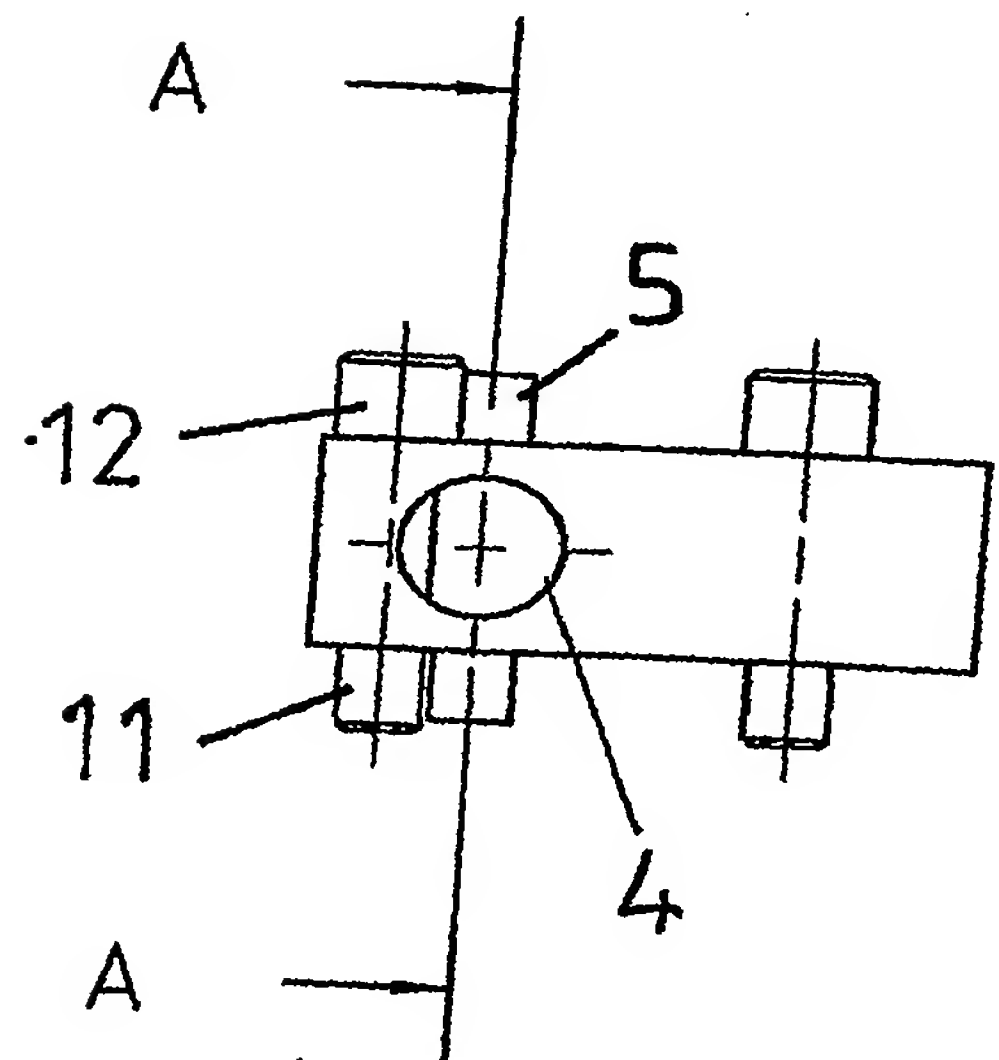


Fig. 4d

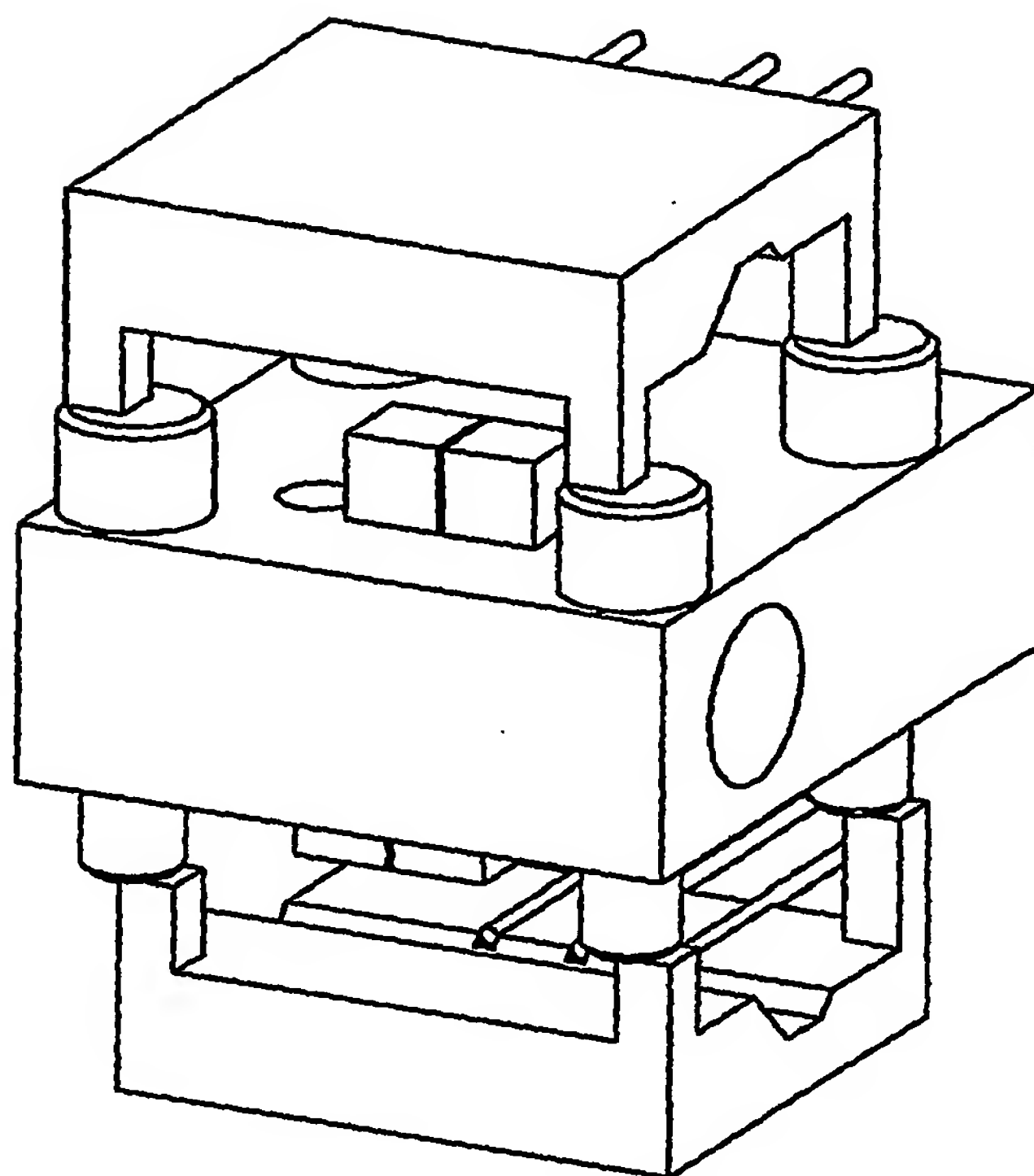


Fig 4f

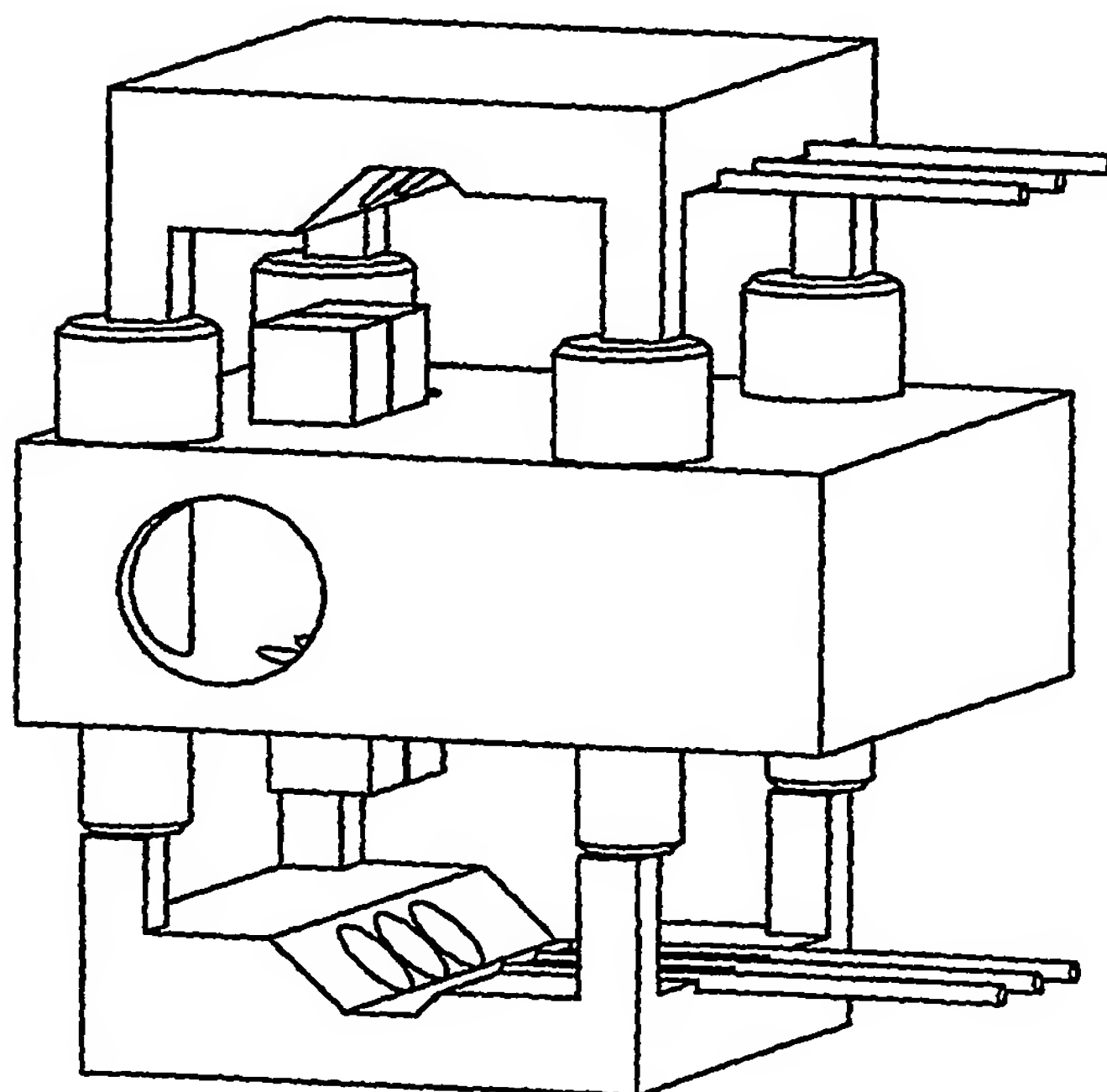


Fig 4g

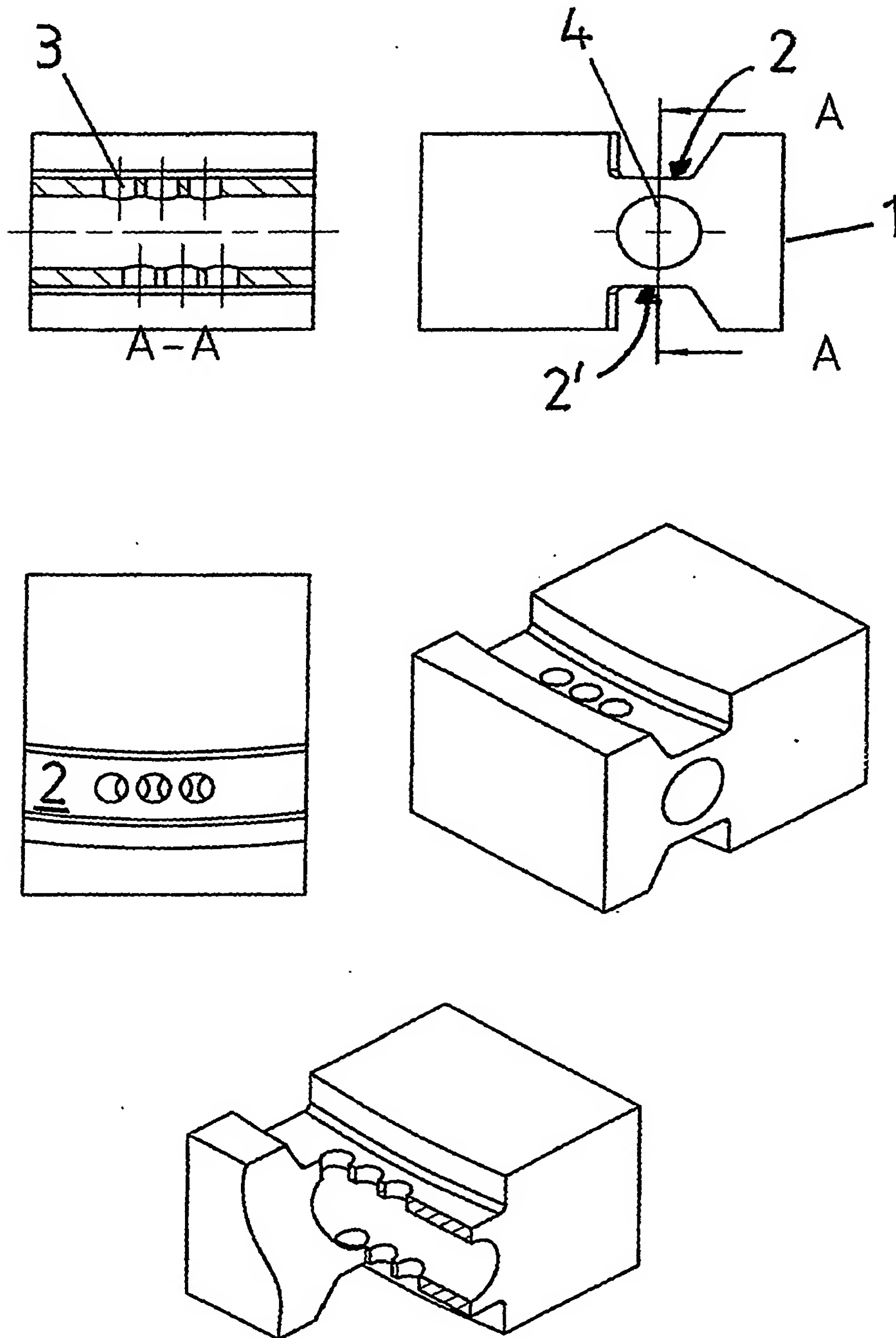


Fig. 5a

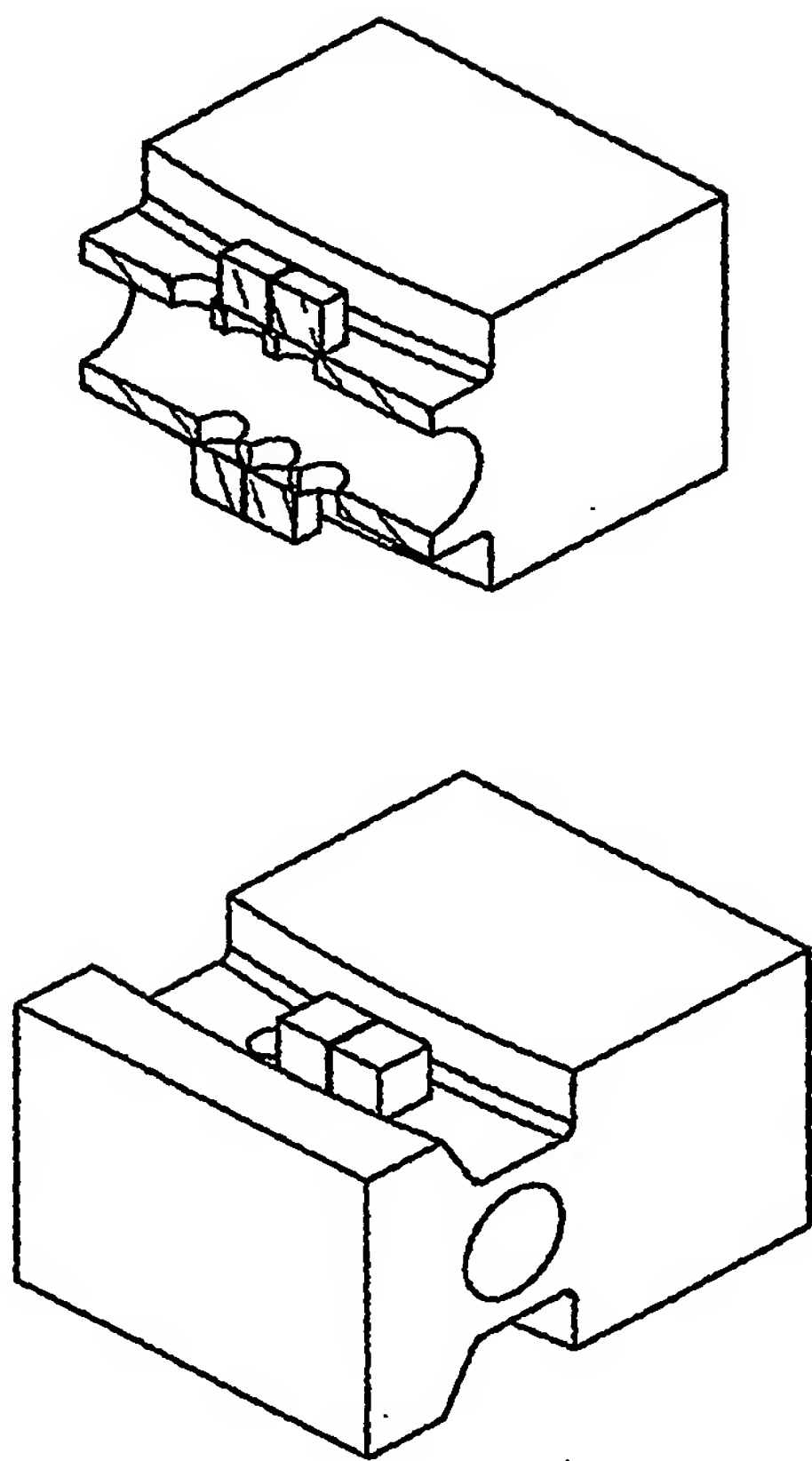
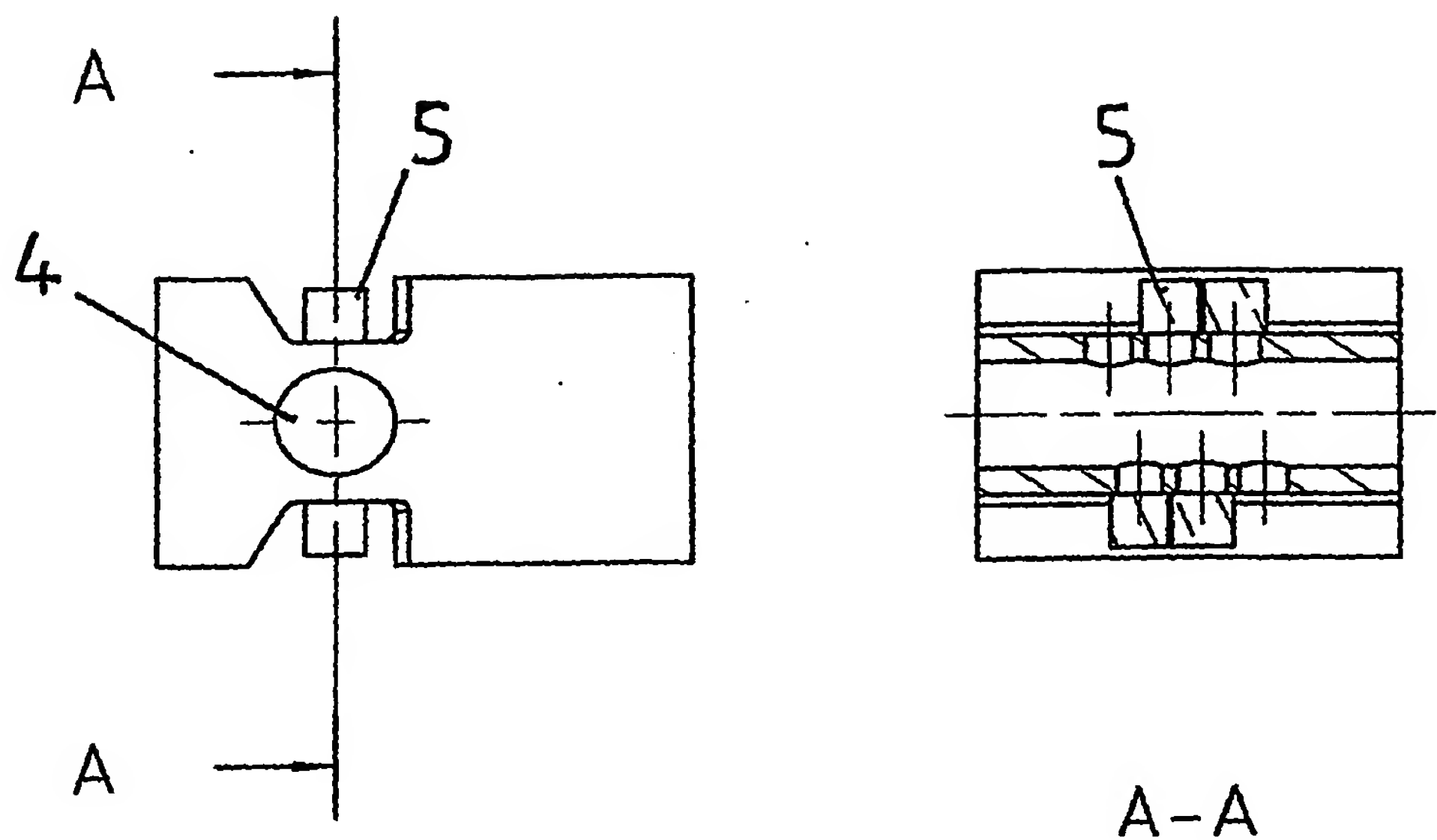


Fig 5b

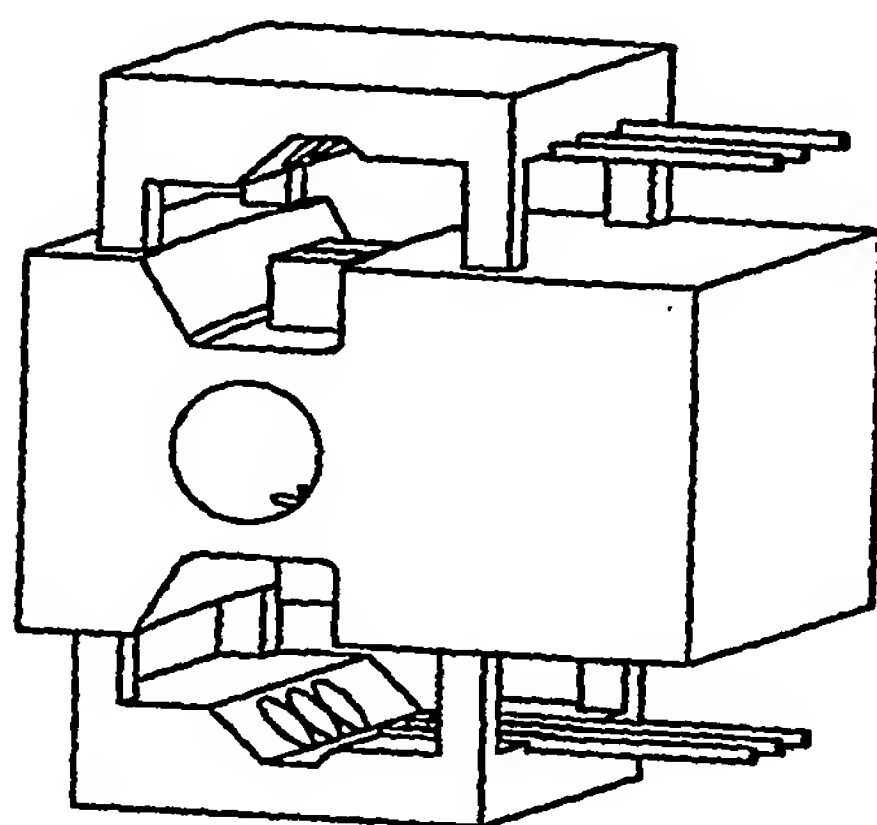
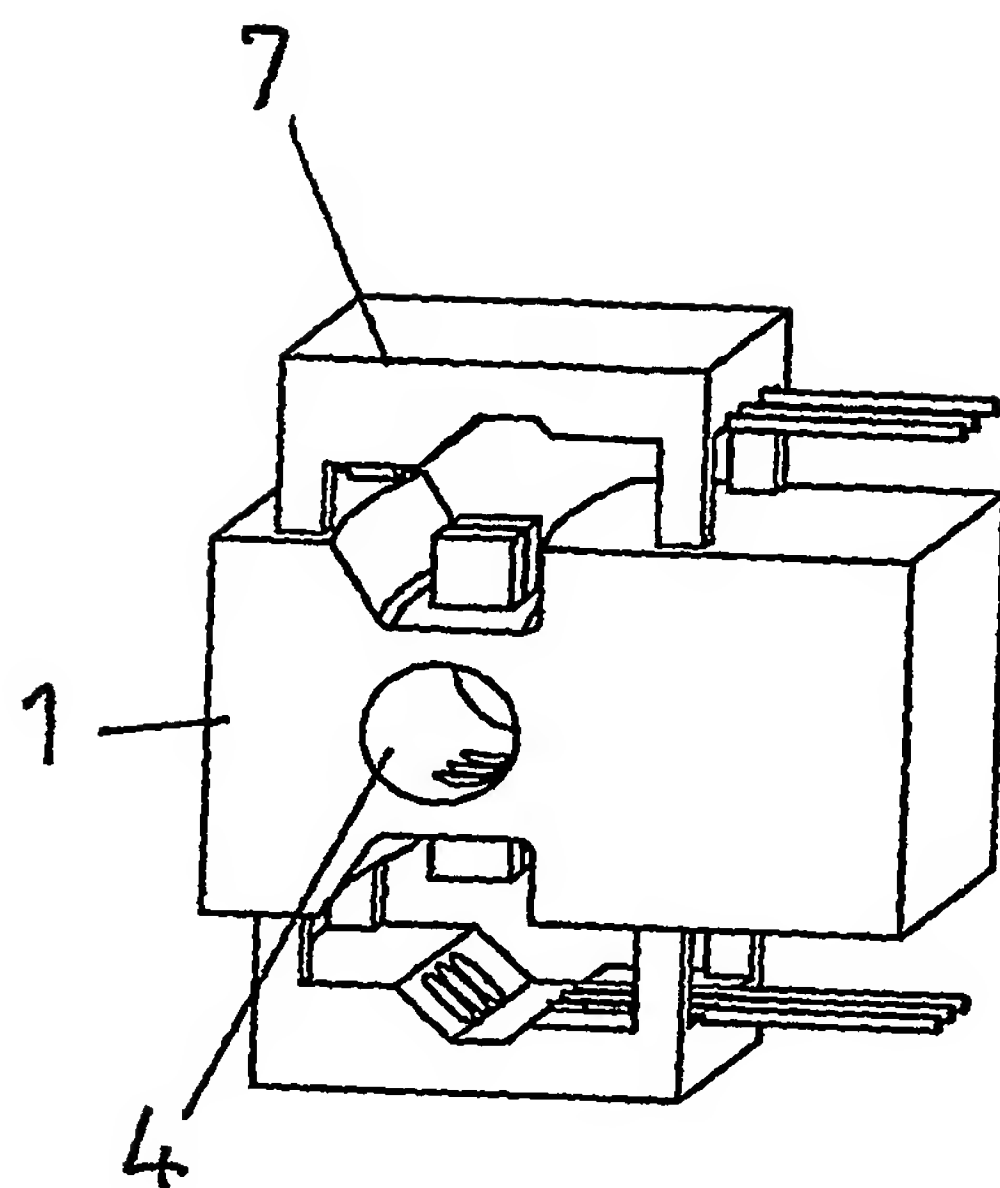
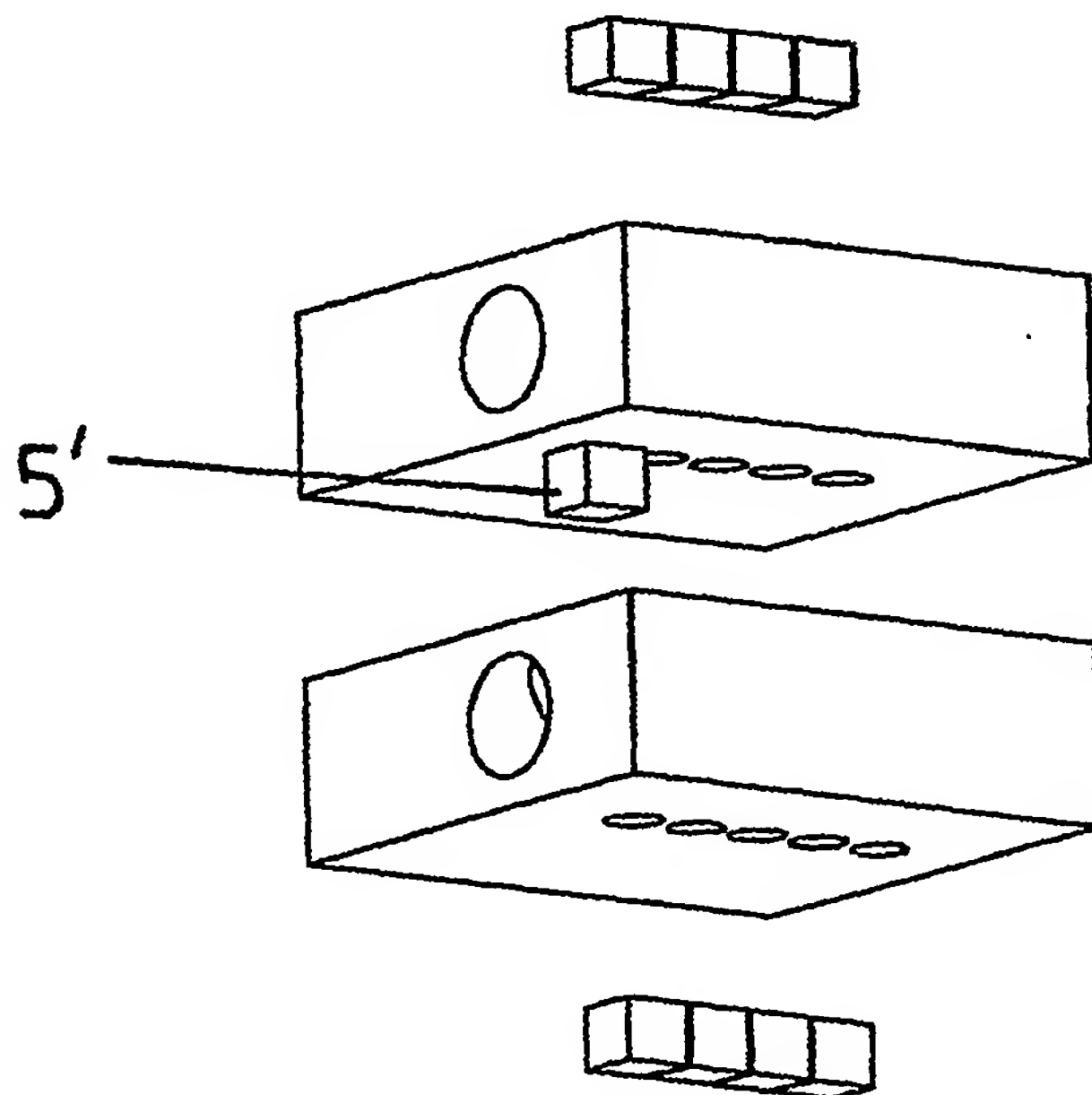
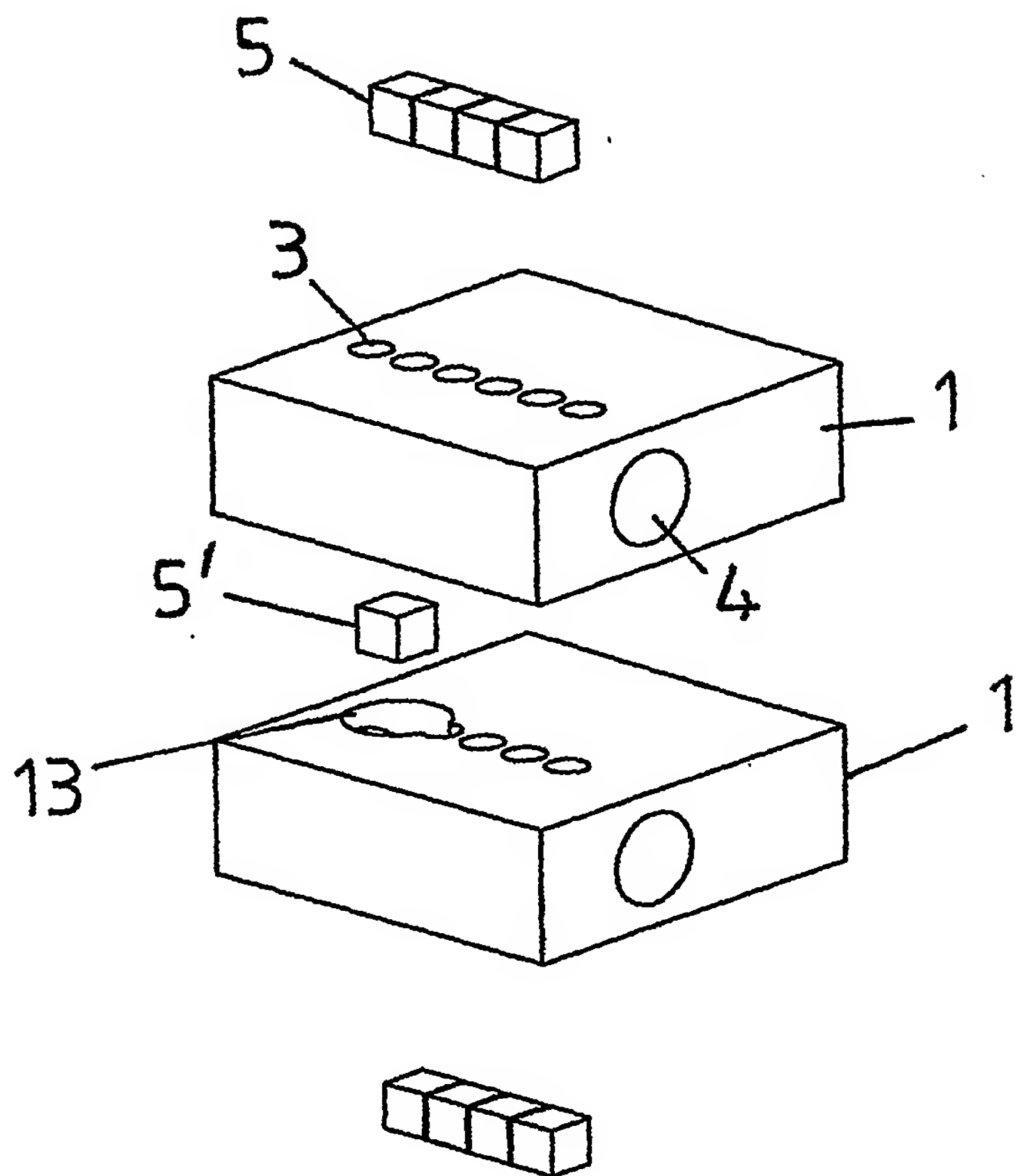


Fig. 5c



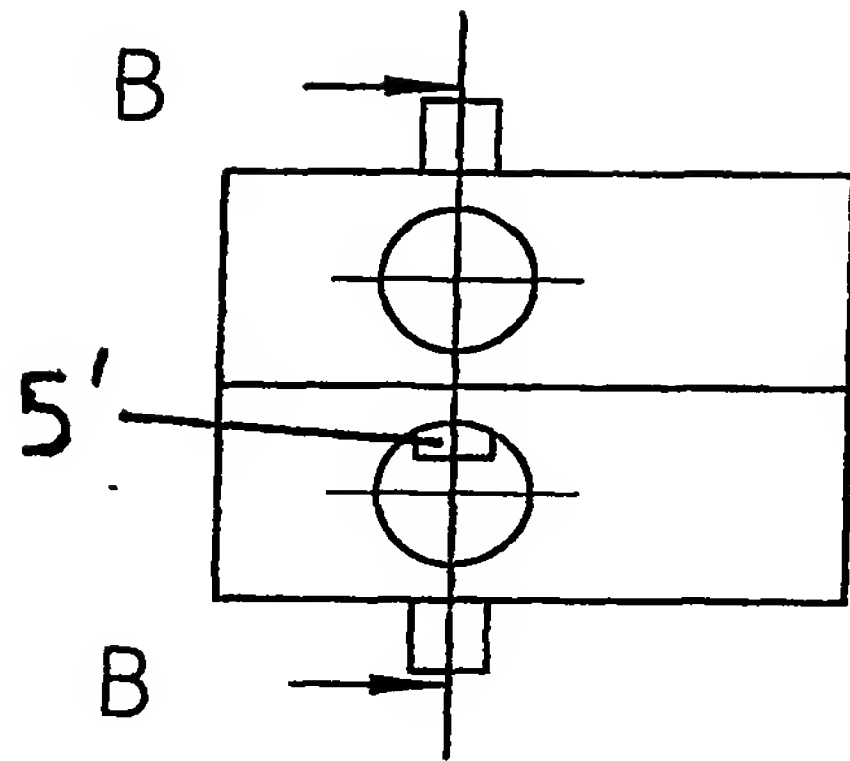


Fig. 6c

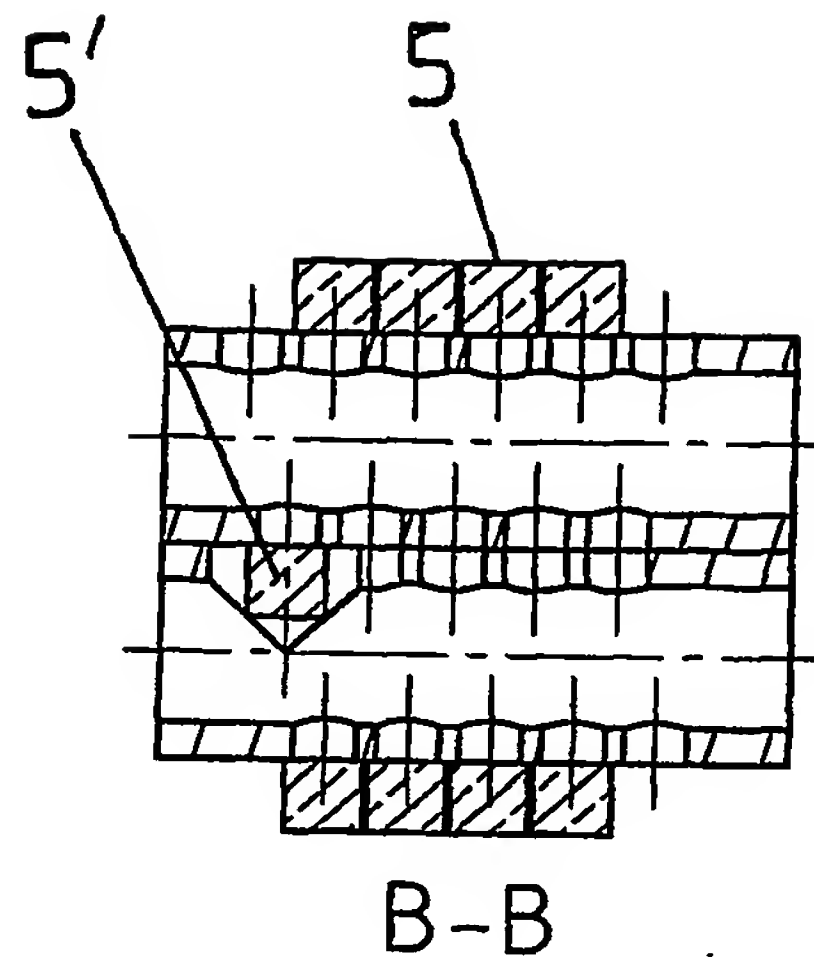


Fig. 6d

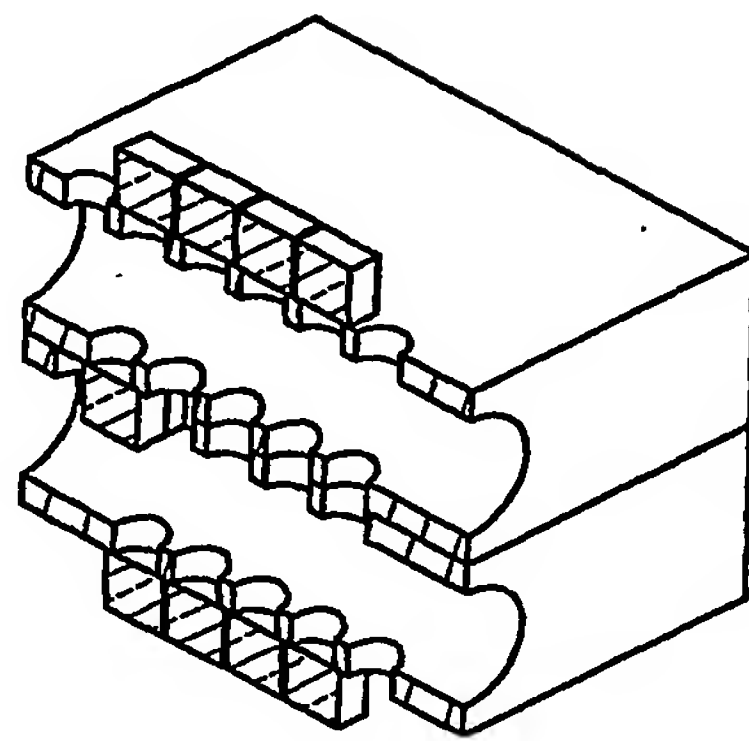


Fig. 6e

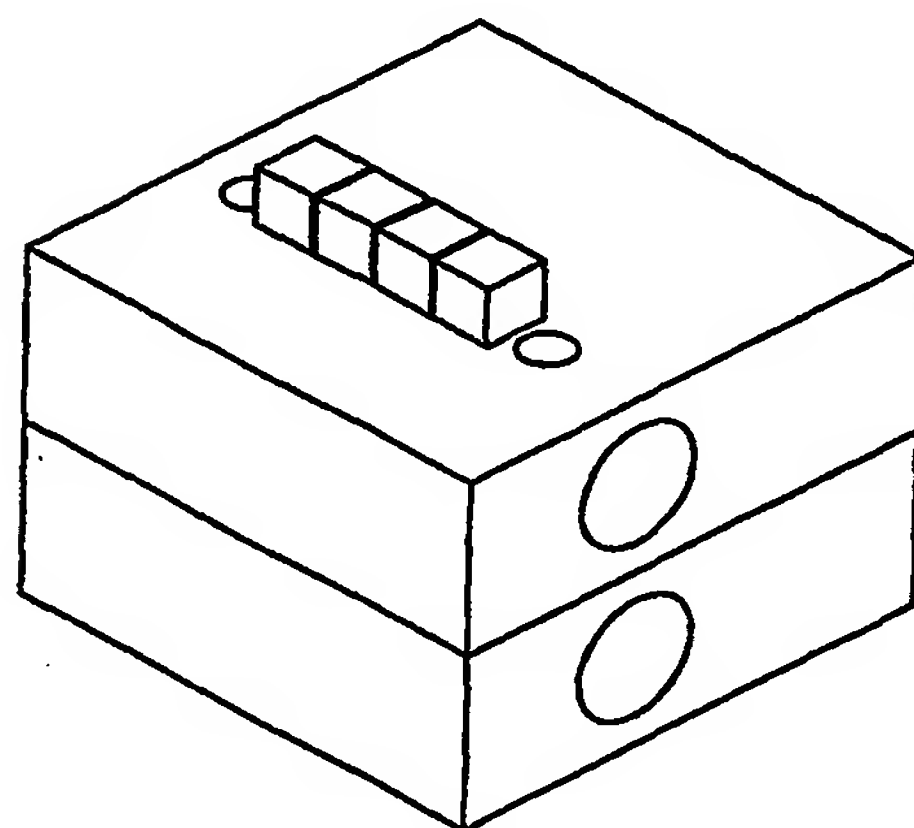


Fig. 6f

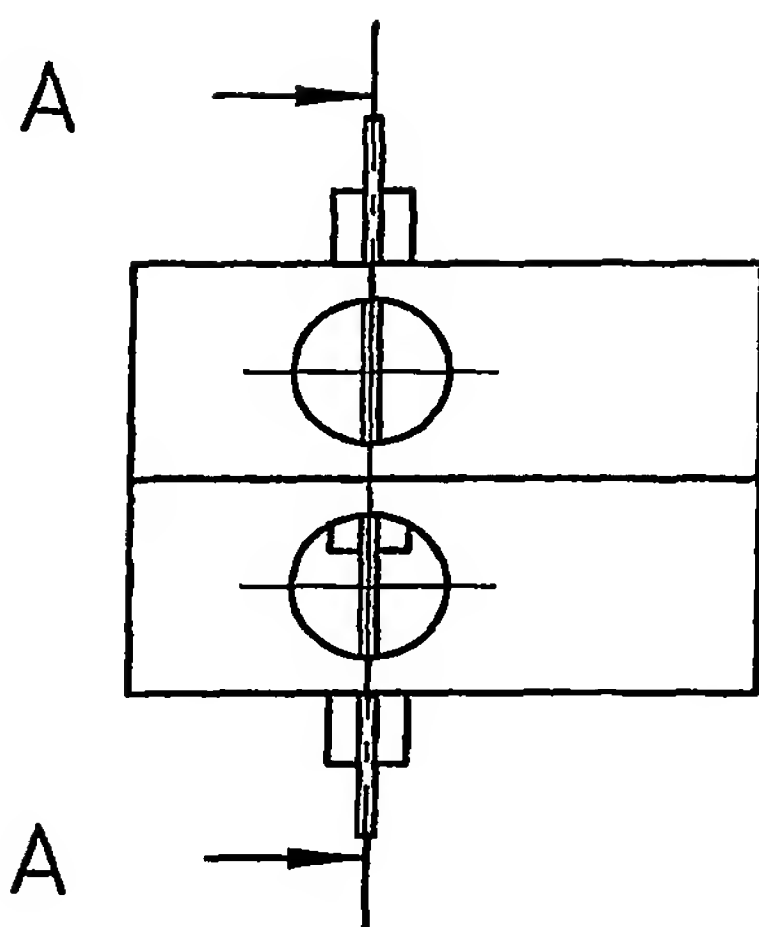


Fig. 6g

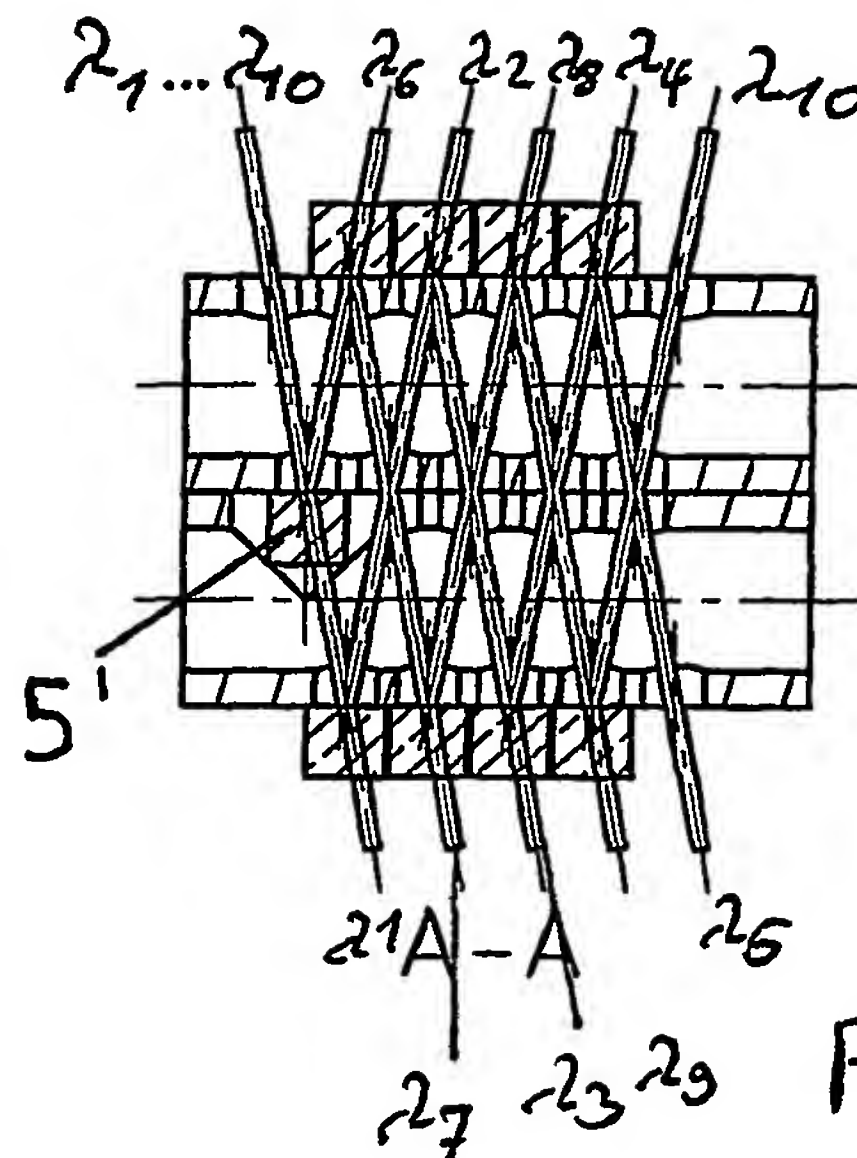


Fig. 6h

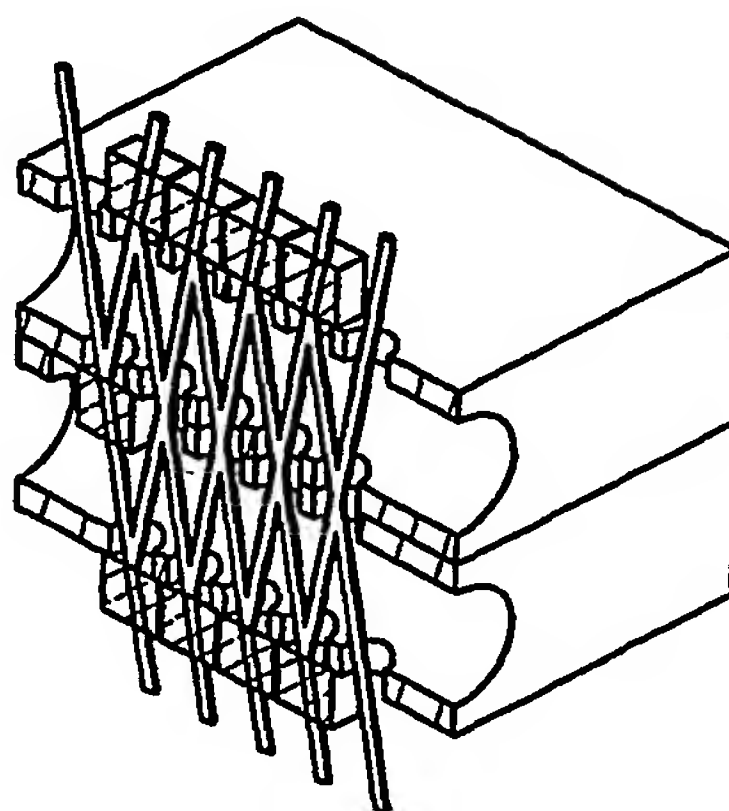


Fig. 6i

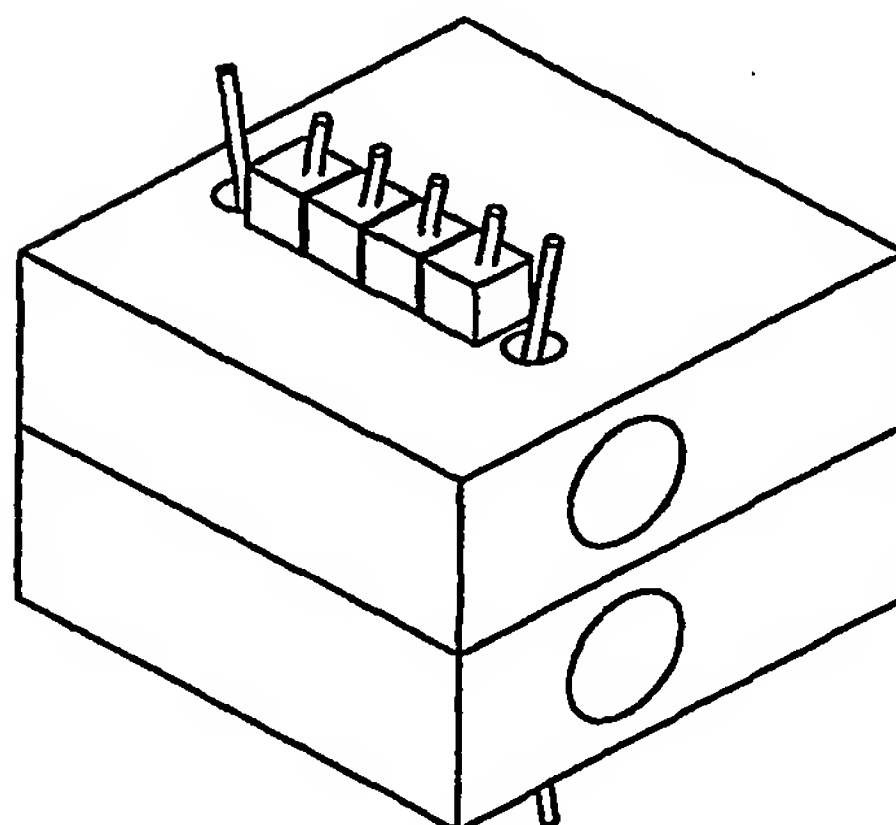


Fig. 6k

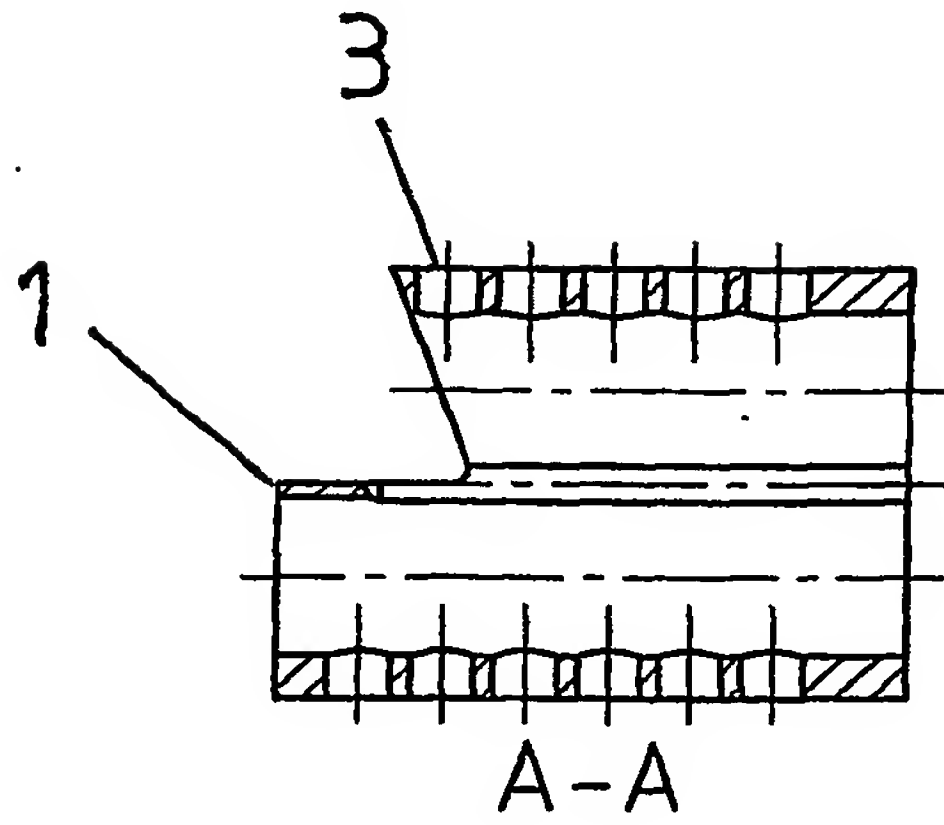


Fig. 7a

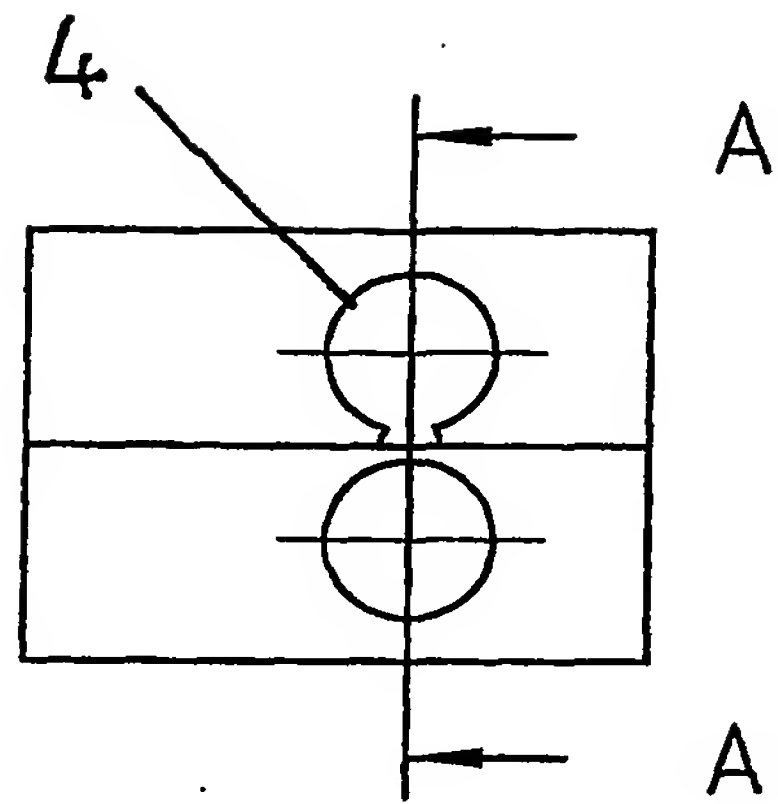


Fig. 7b

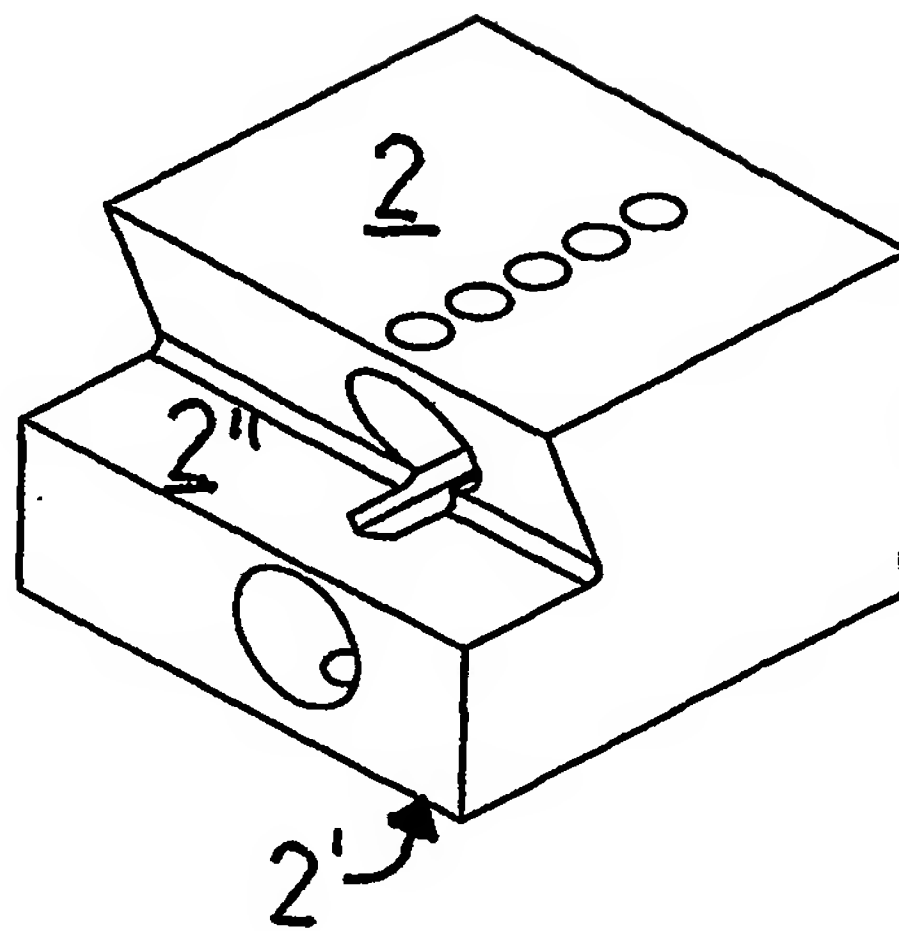


Fig 7c

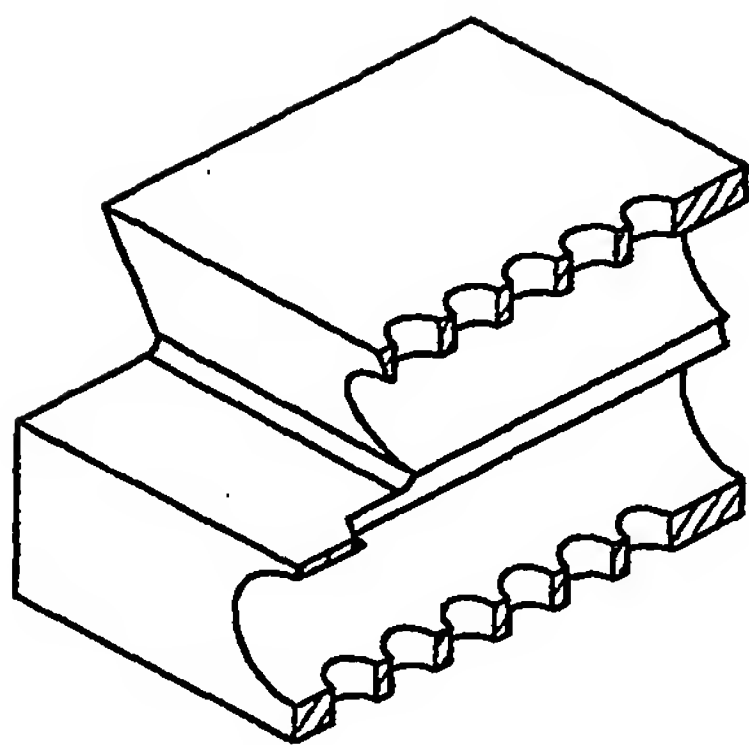


Fig 7d

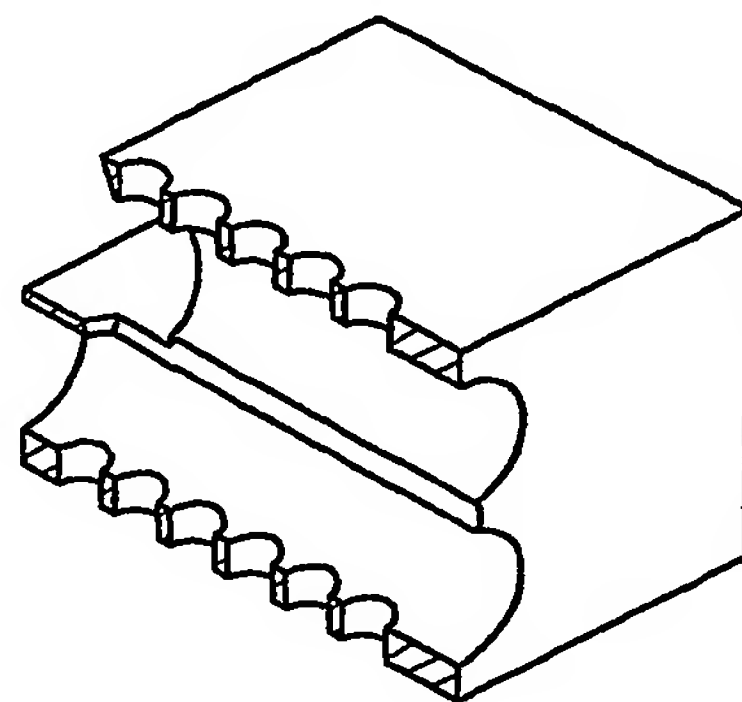


Fig. 7e

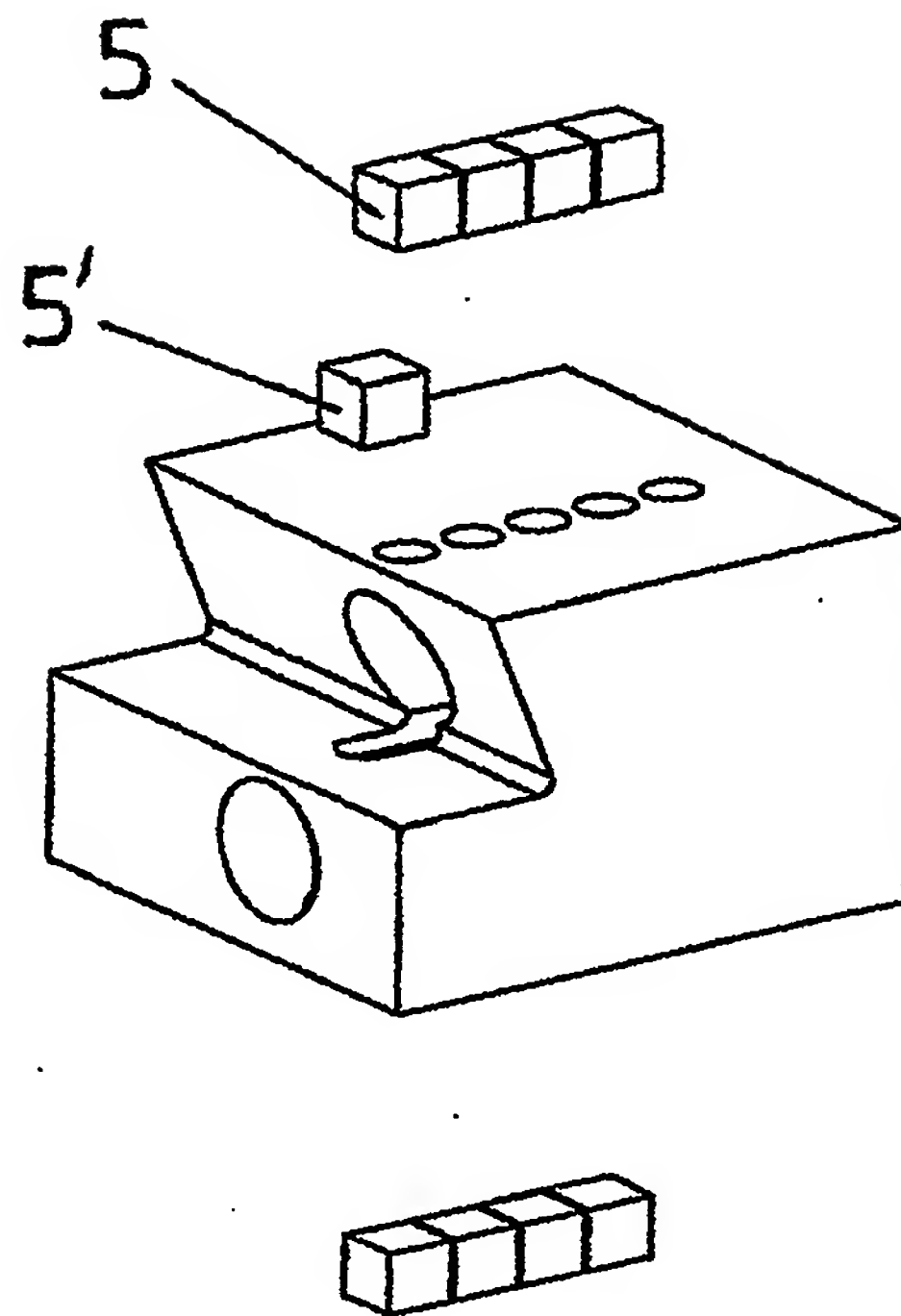


Fig. 7f

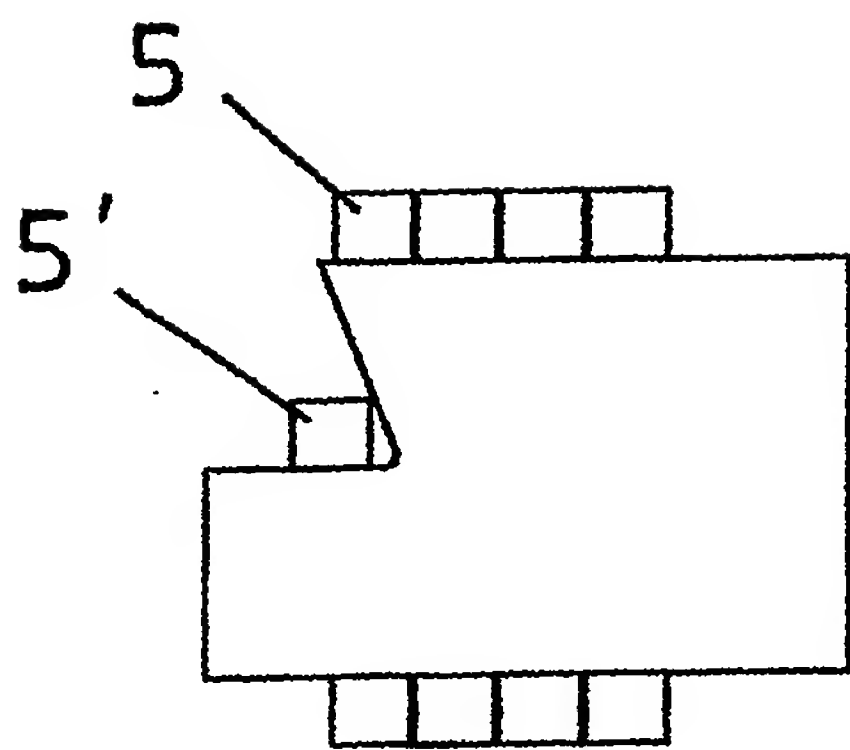


Fig. 7g

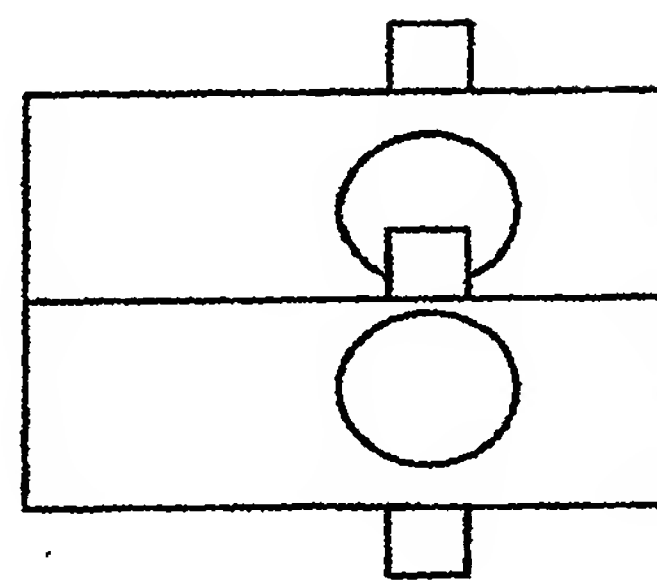


Fig. 7h

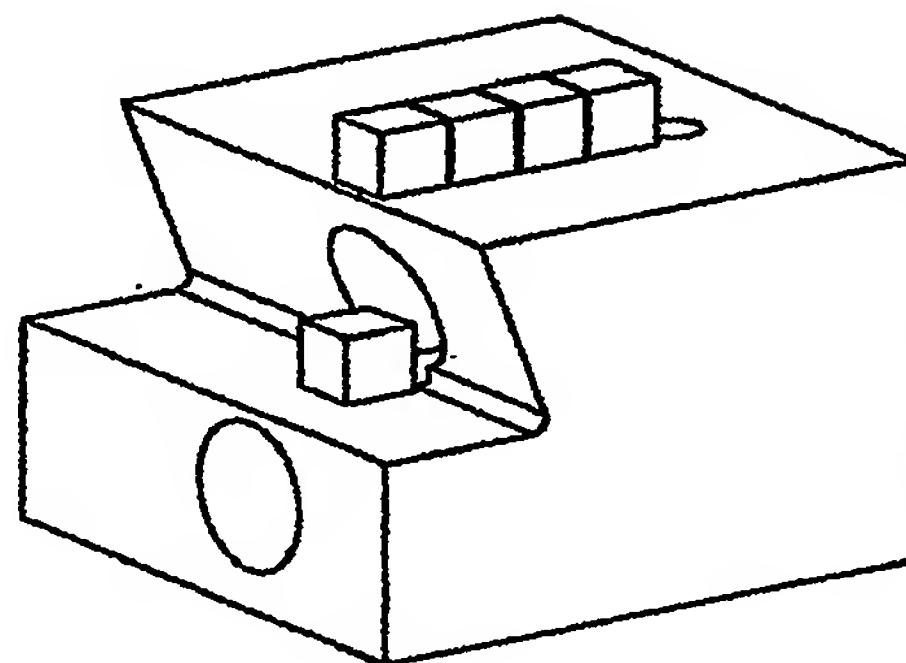
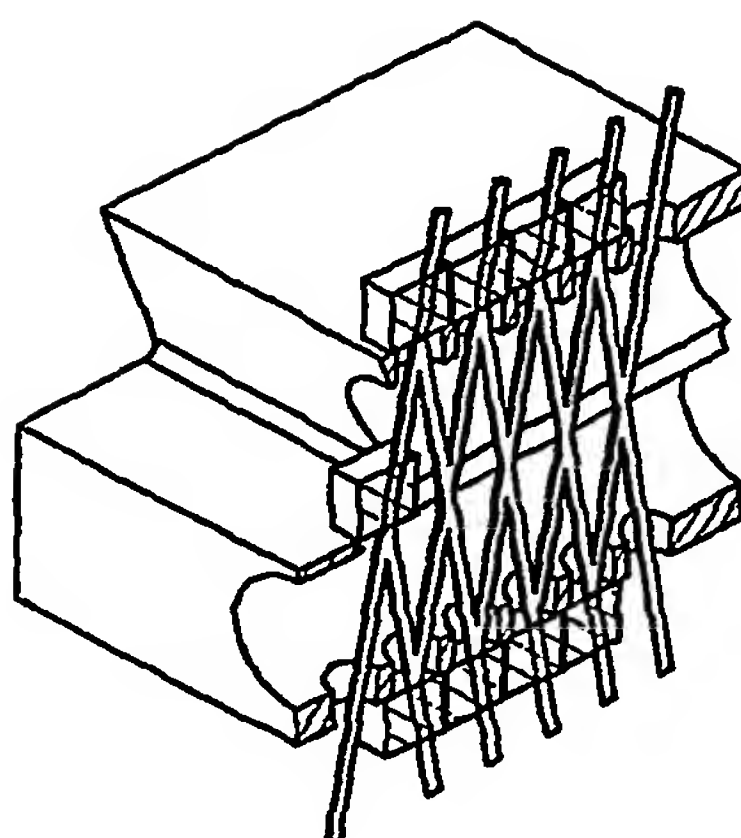
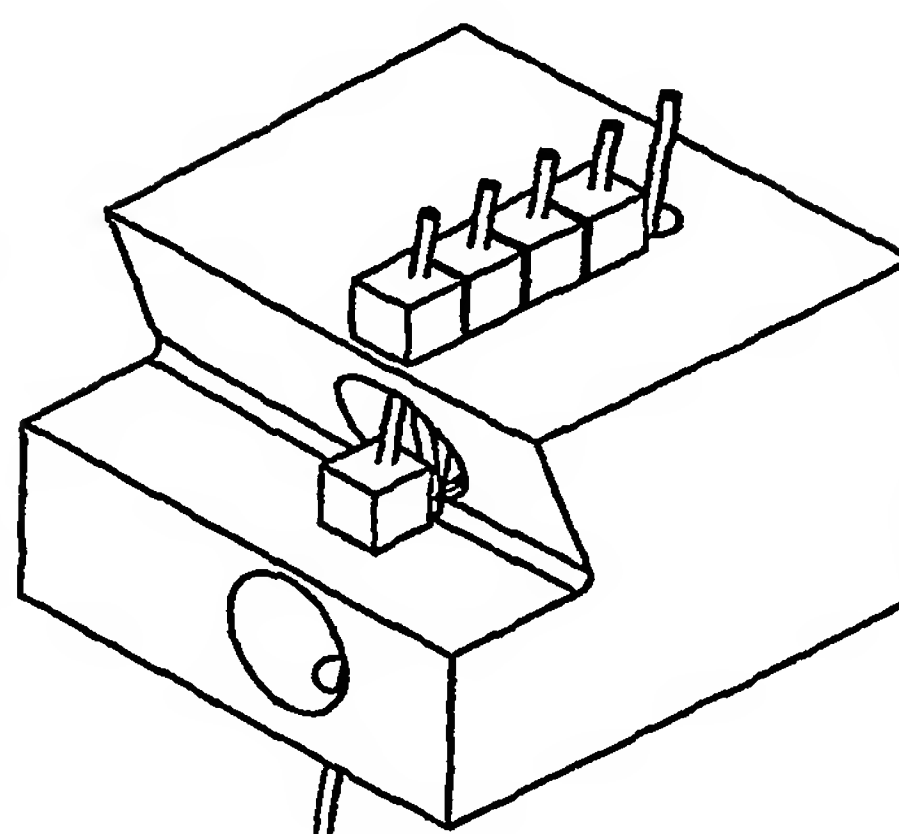
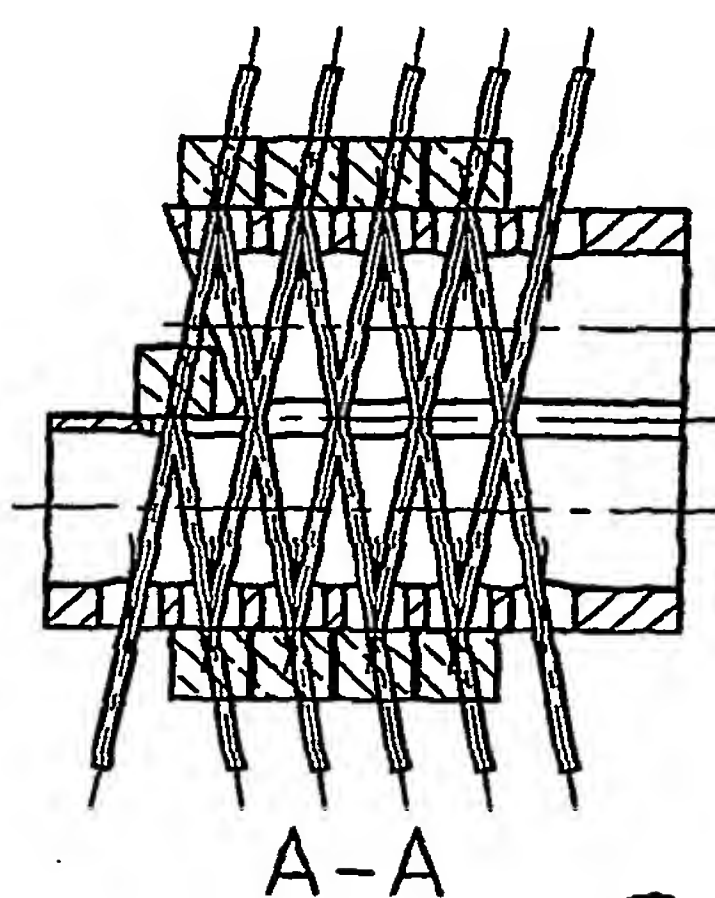
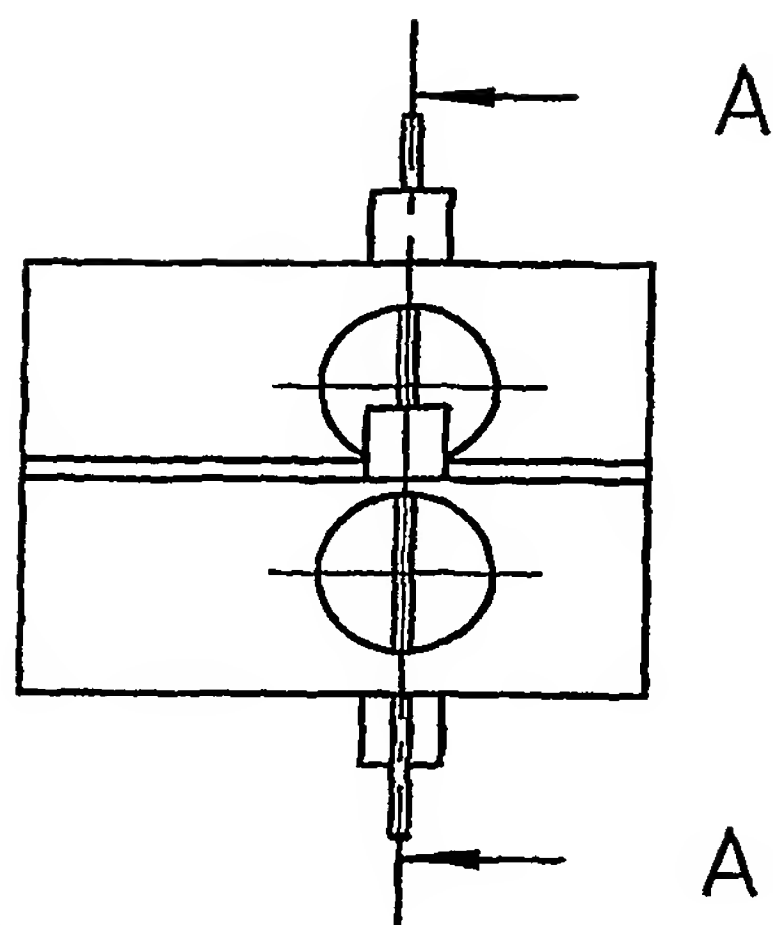
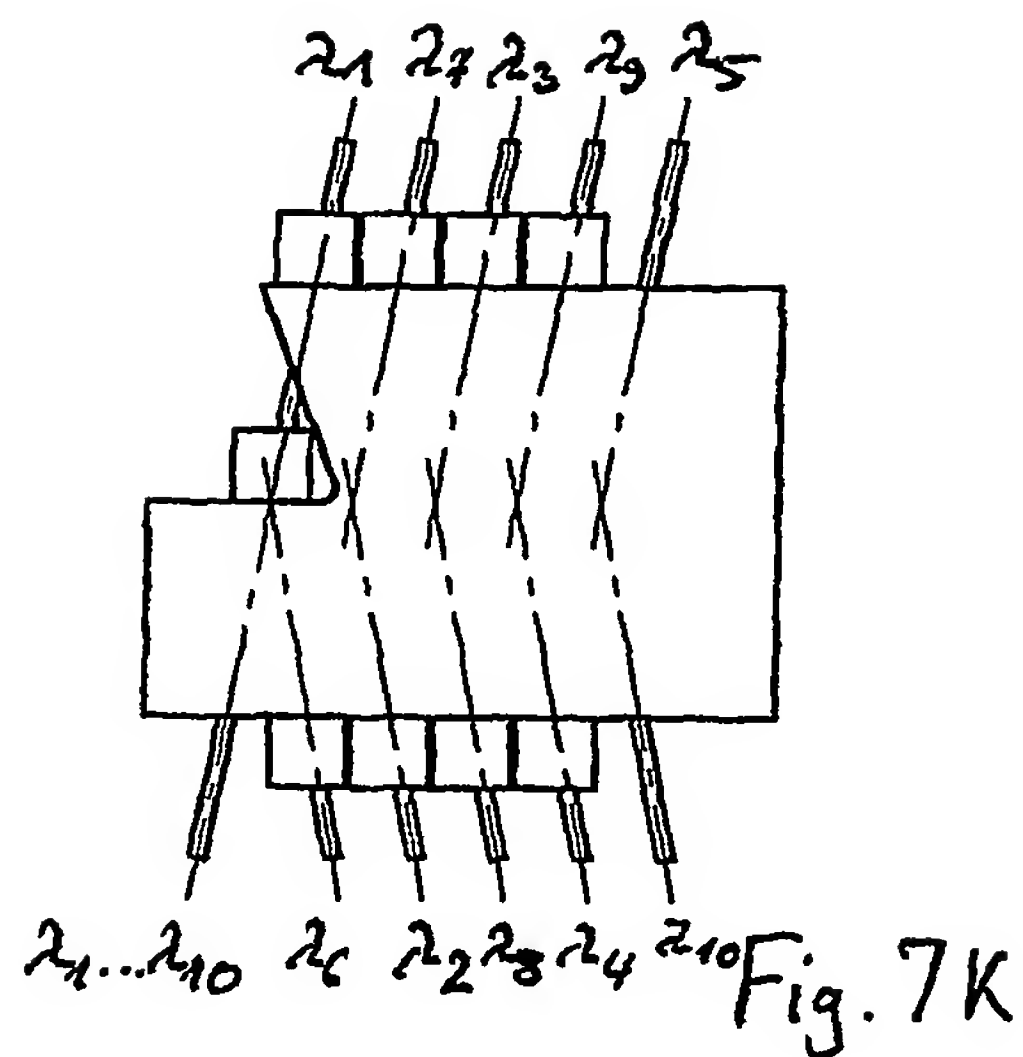


Fig. 7i



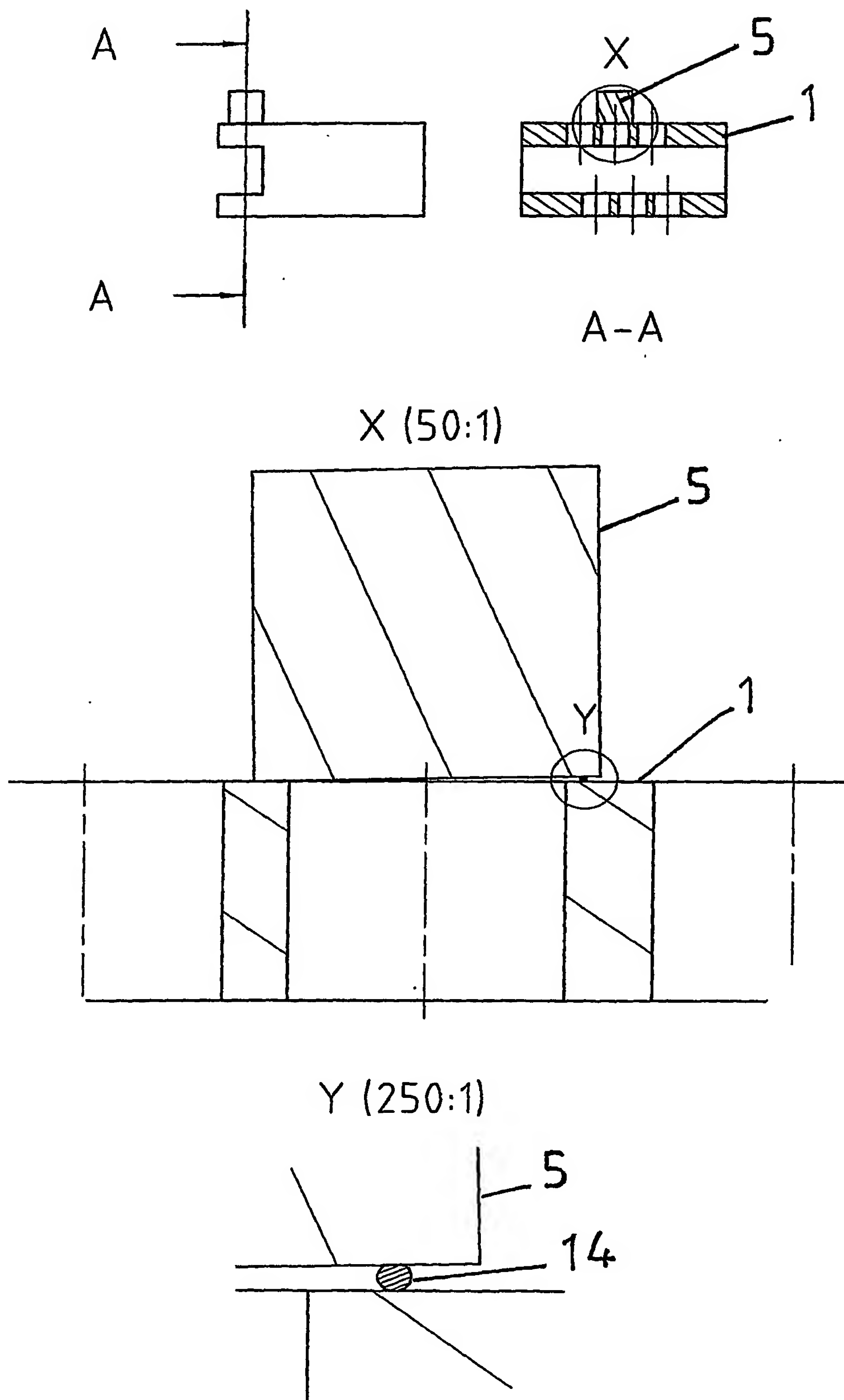


Fig. 8a

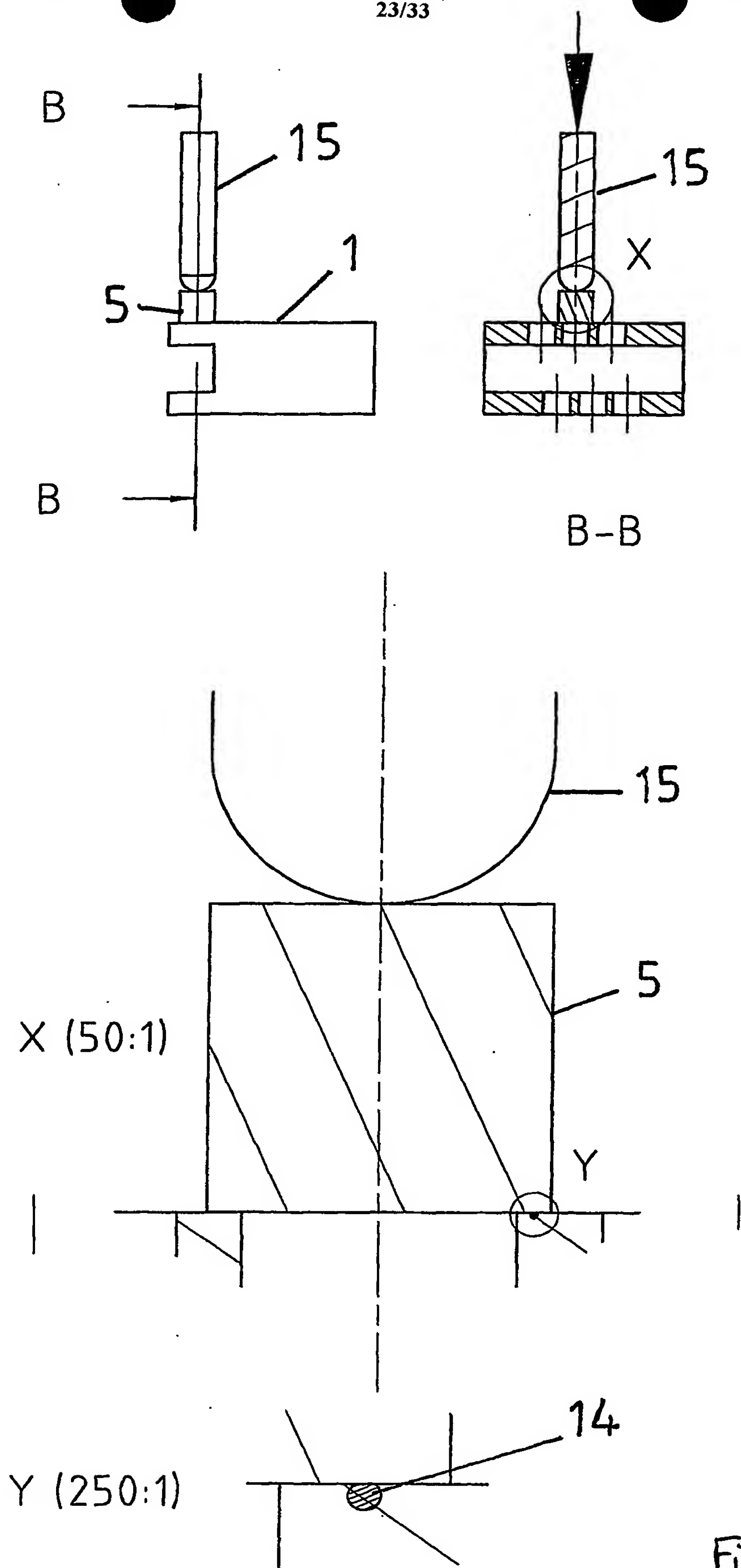


Fig. 8b

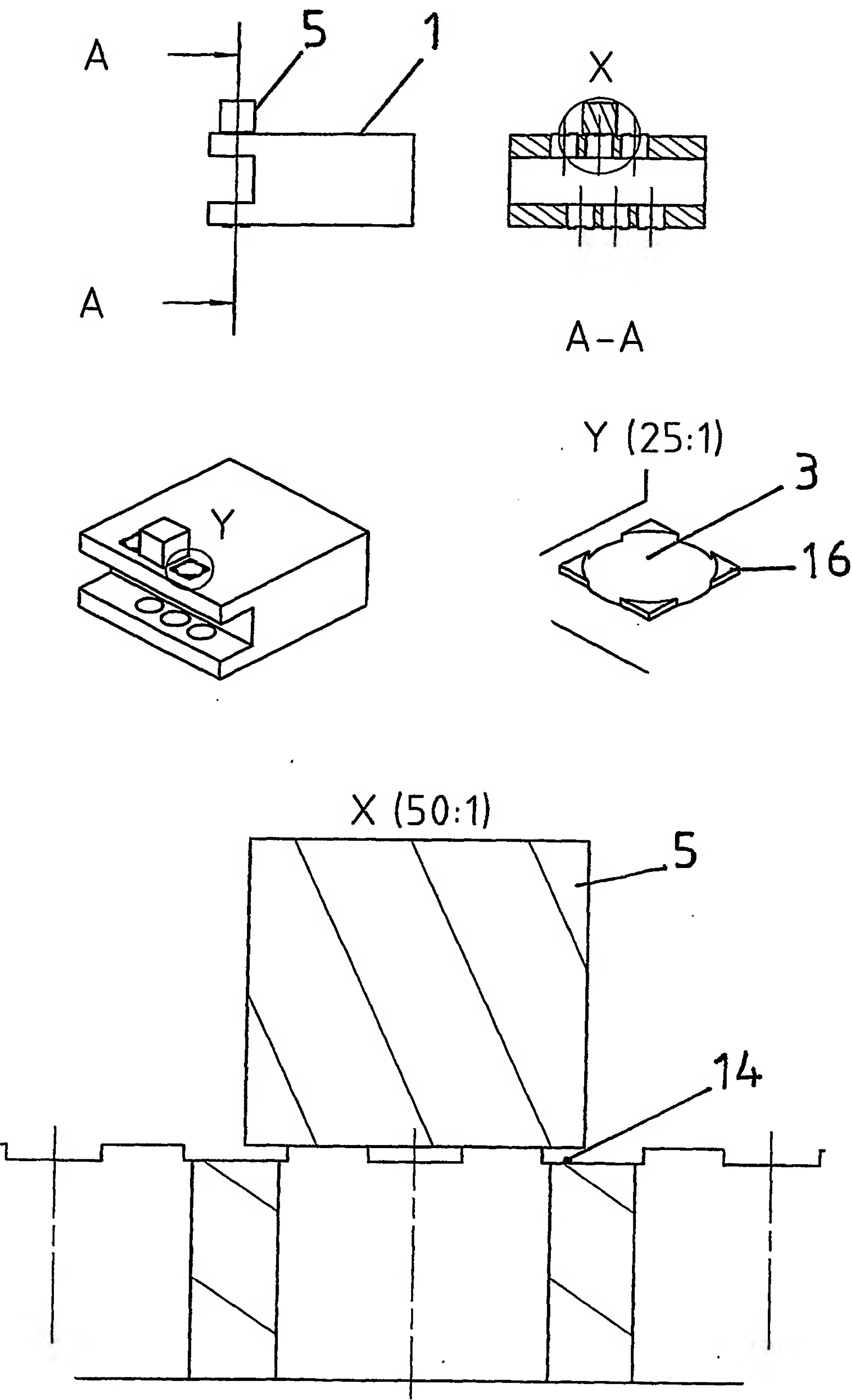


Fig. 9a

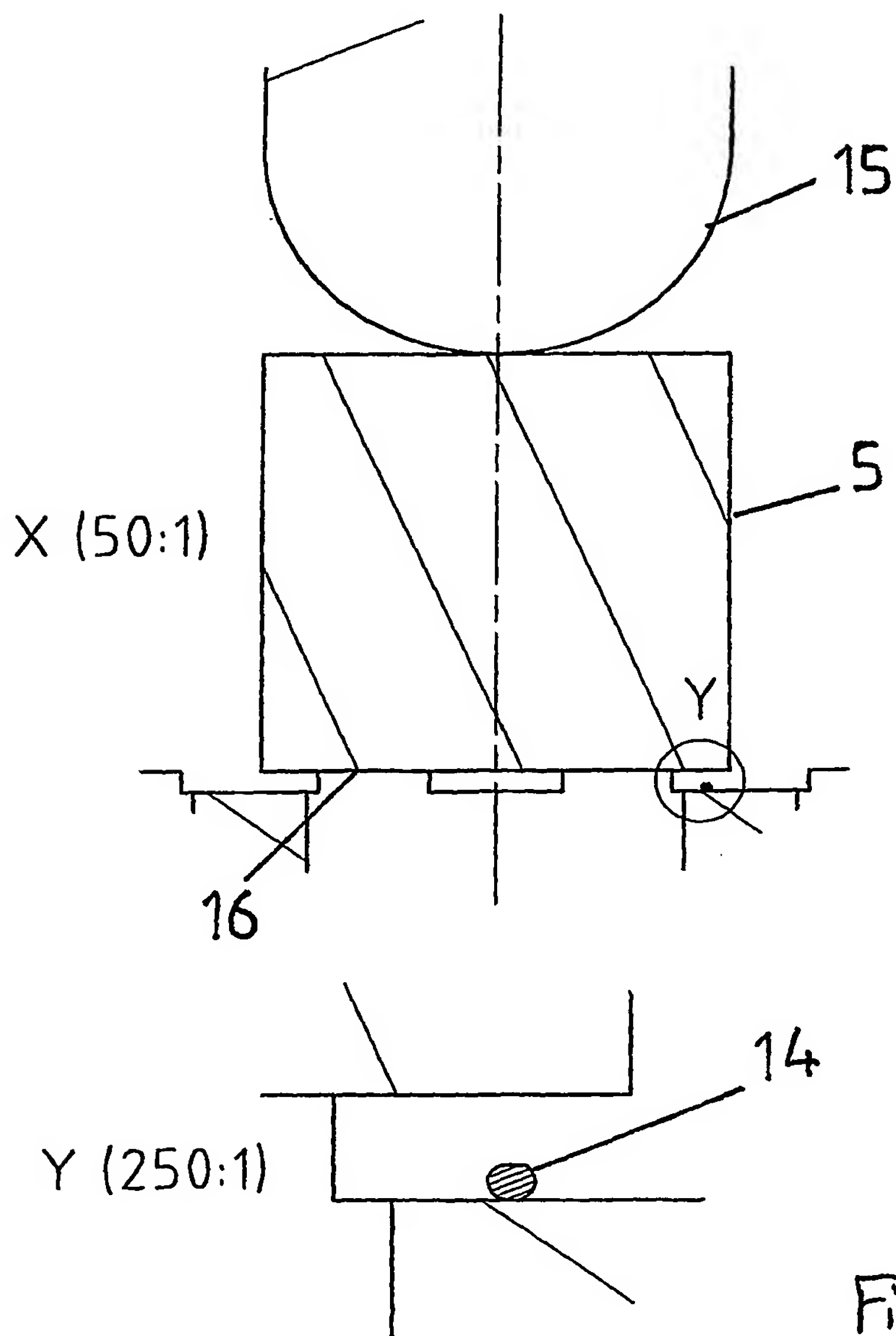
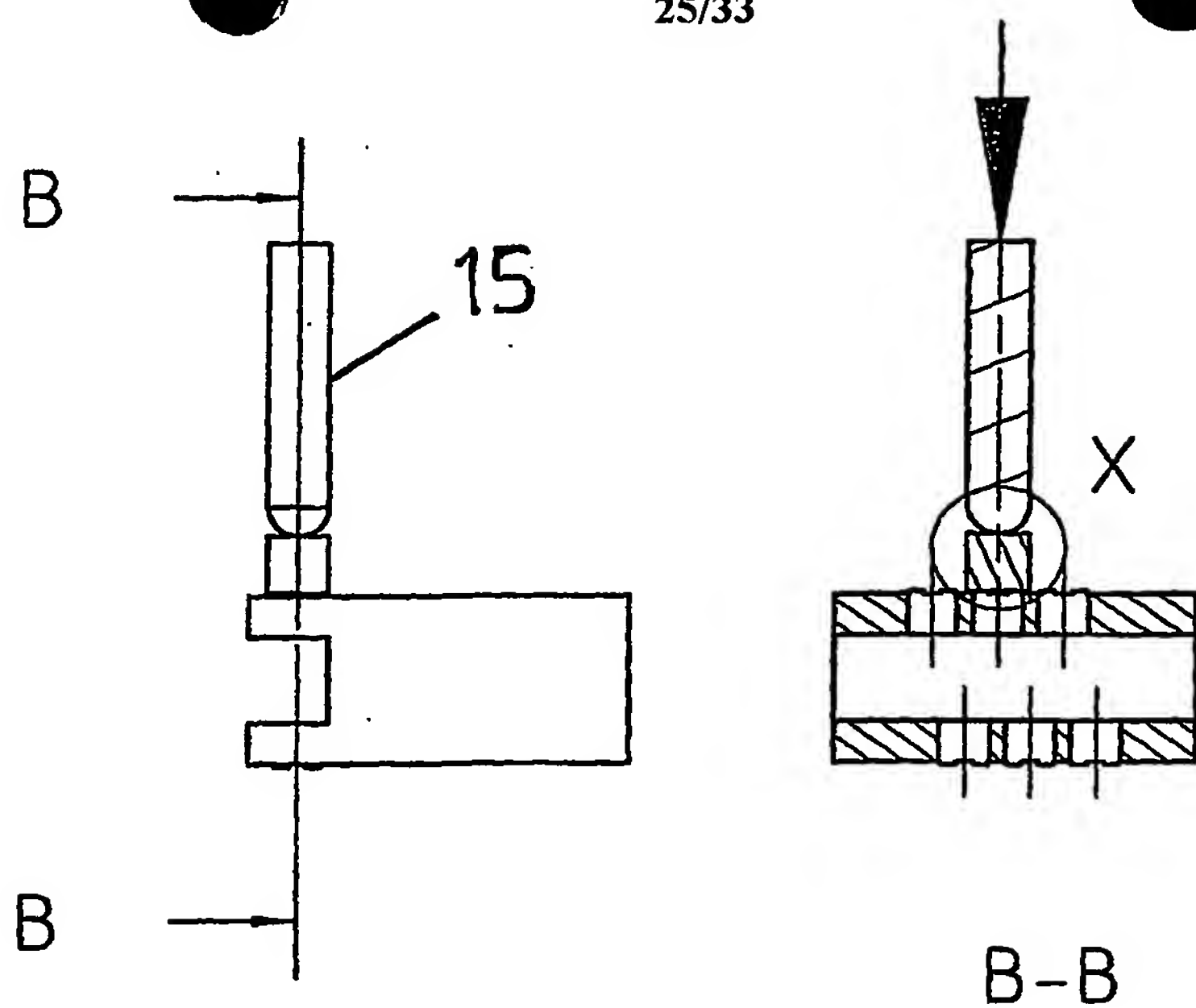


Fig. 9b

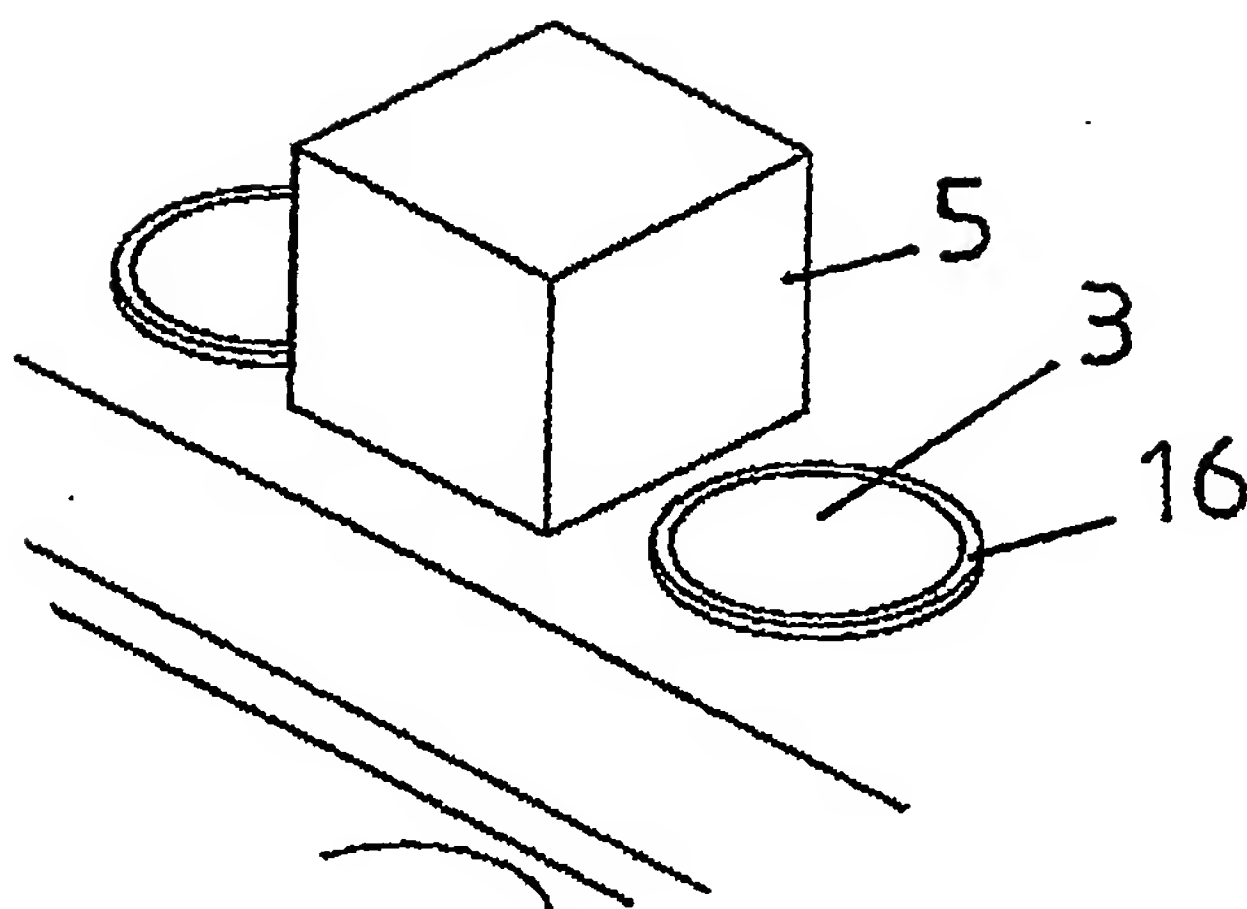
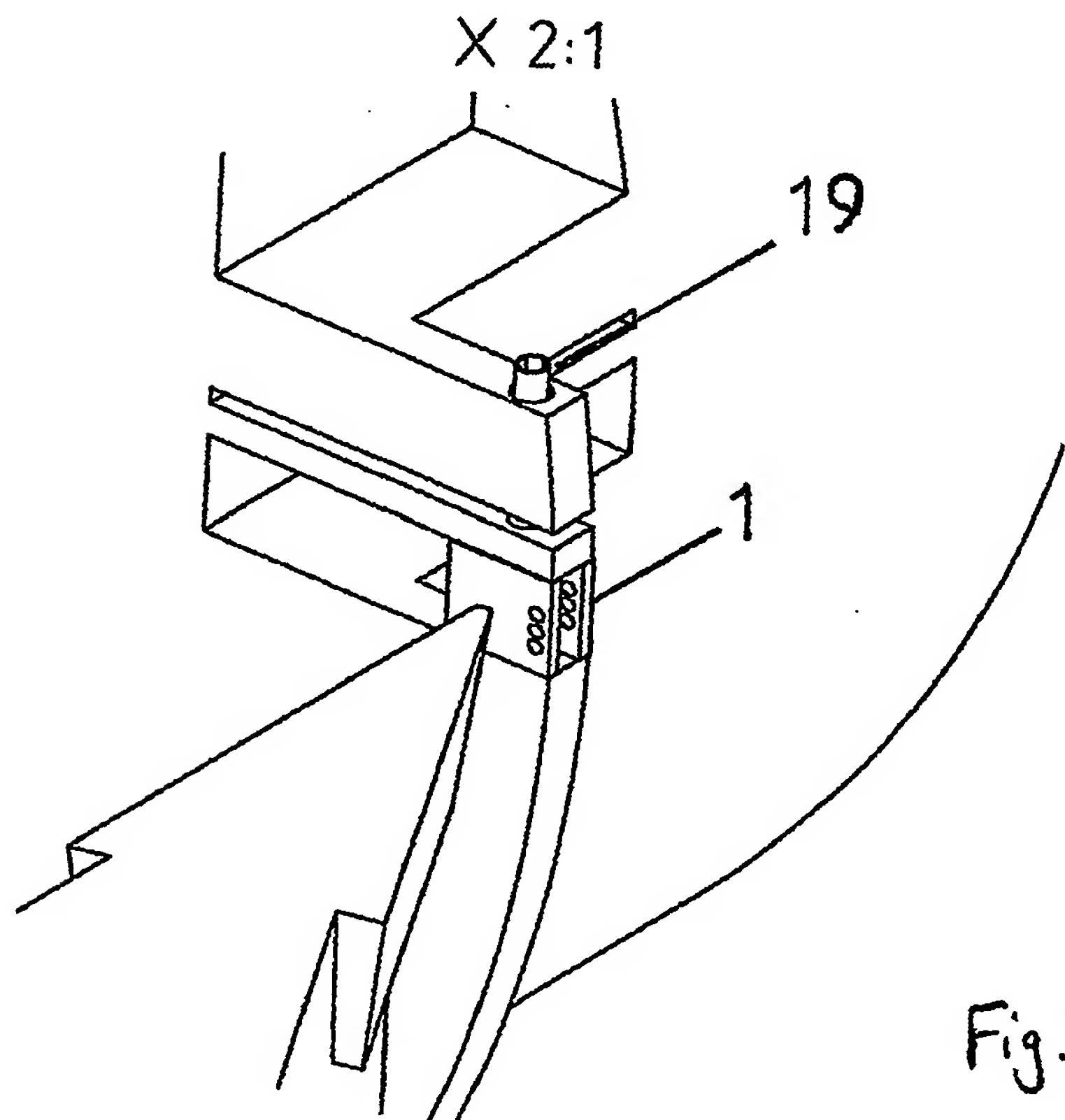
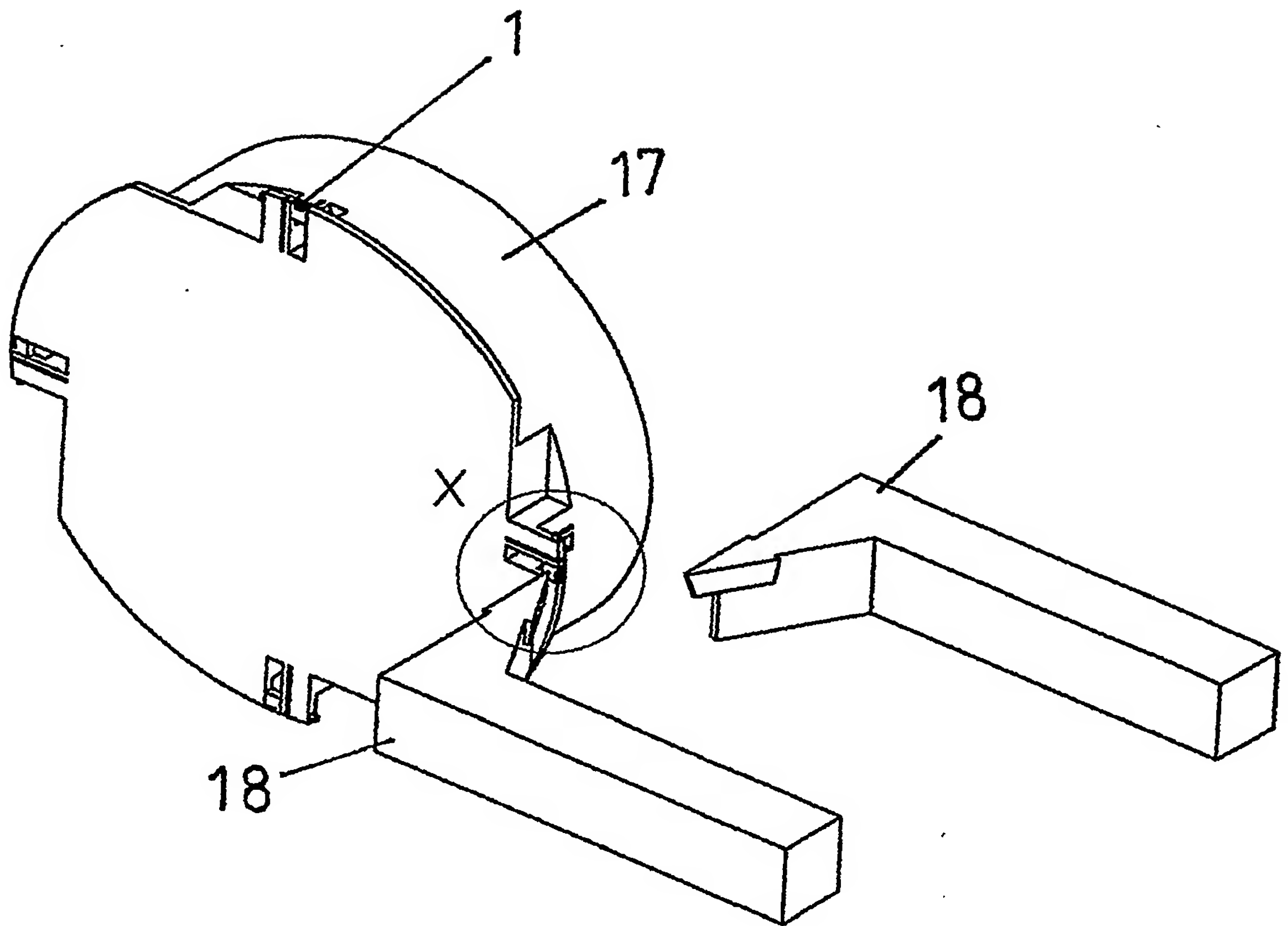


Fig. 9c



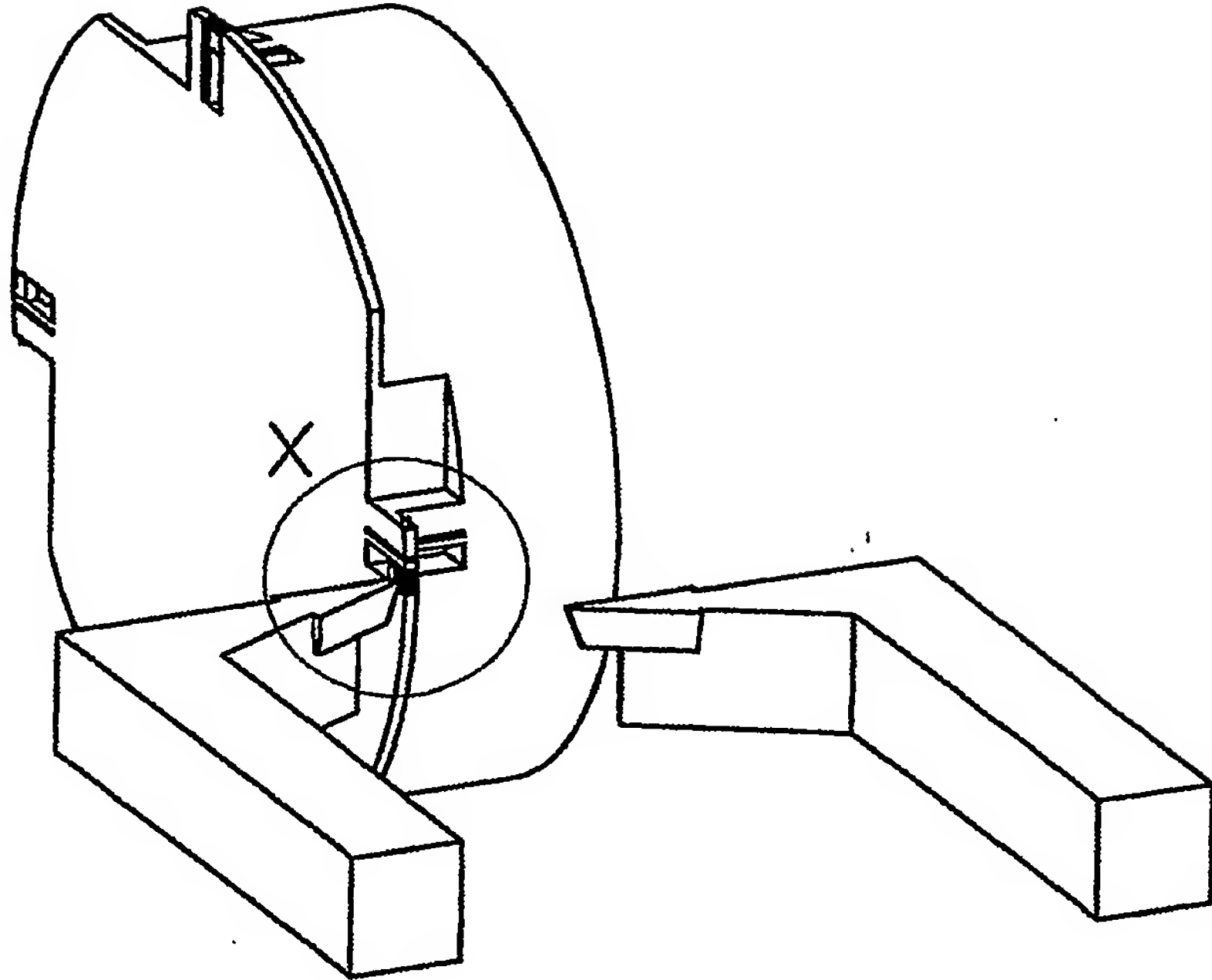


Fig. 10c

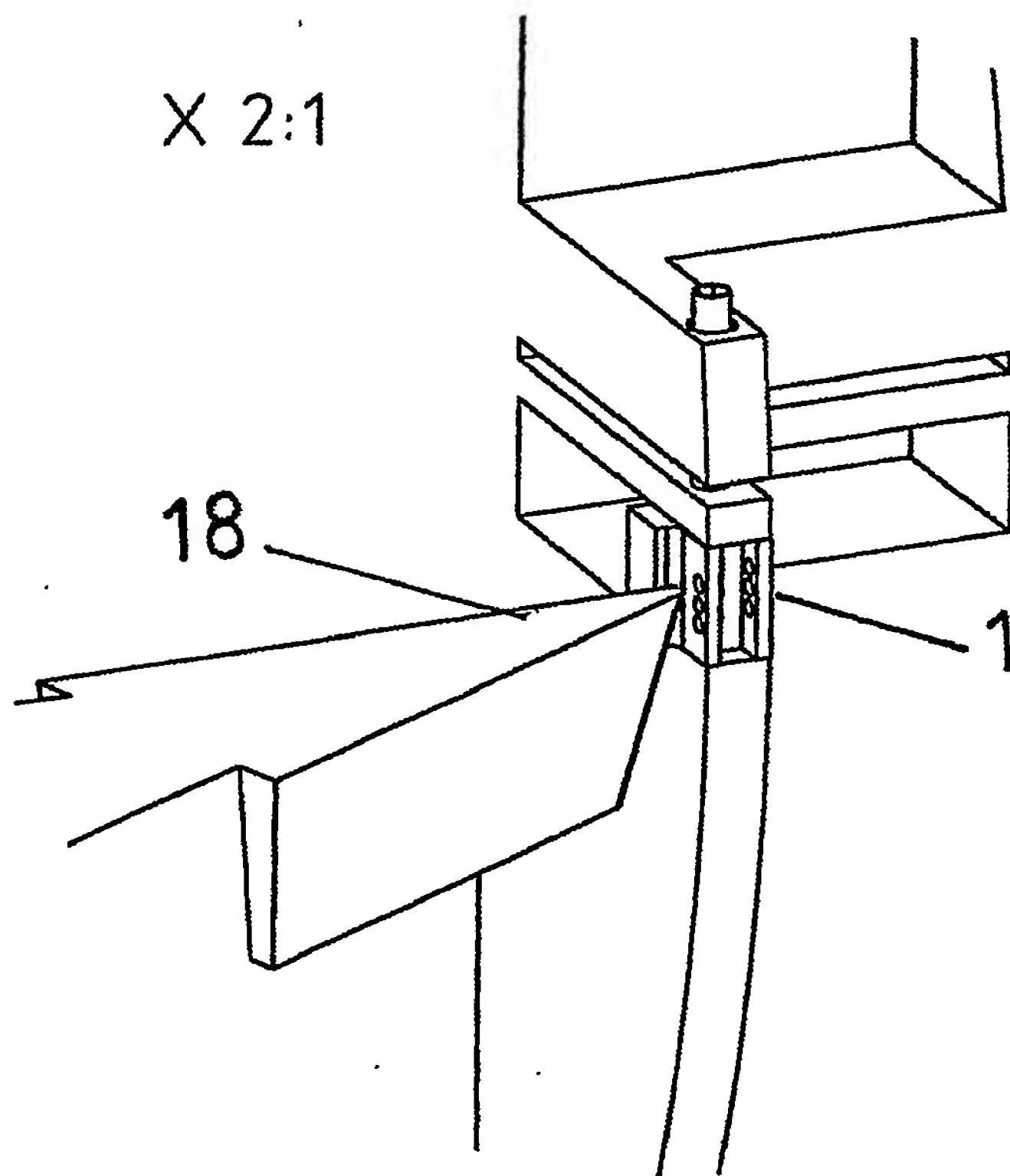


Fig 10d

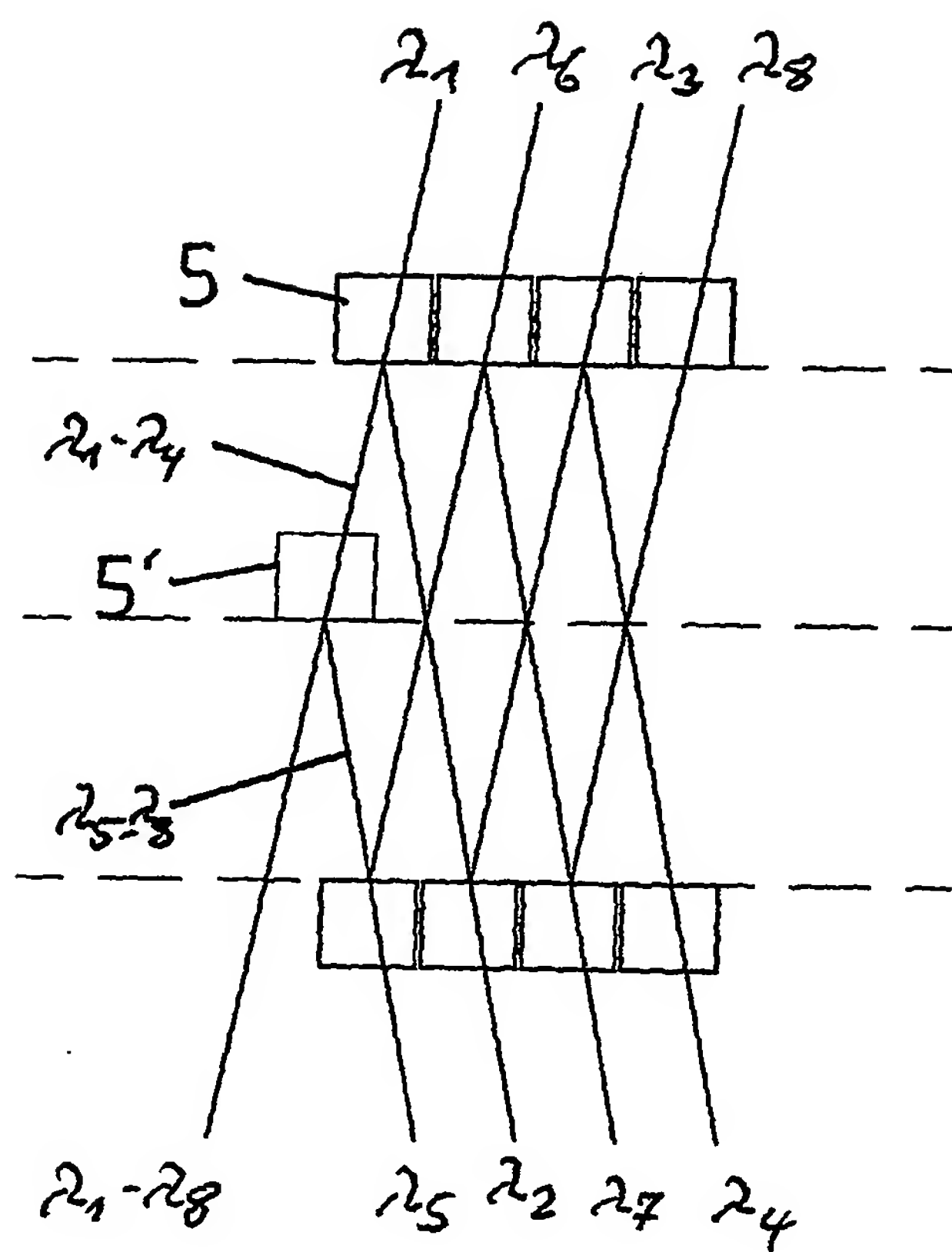


Fig. 11

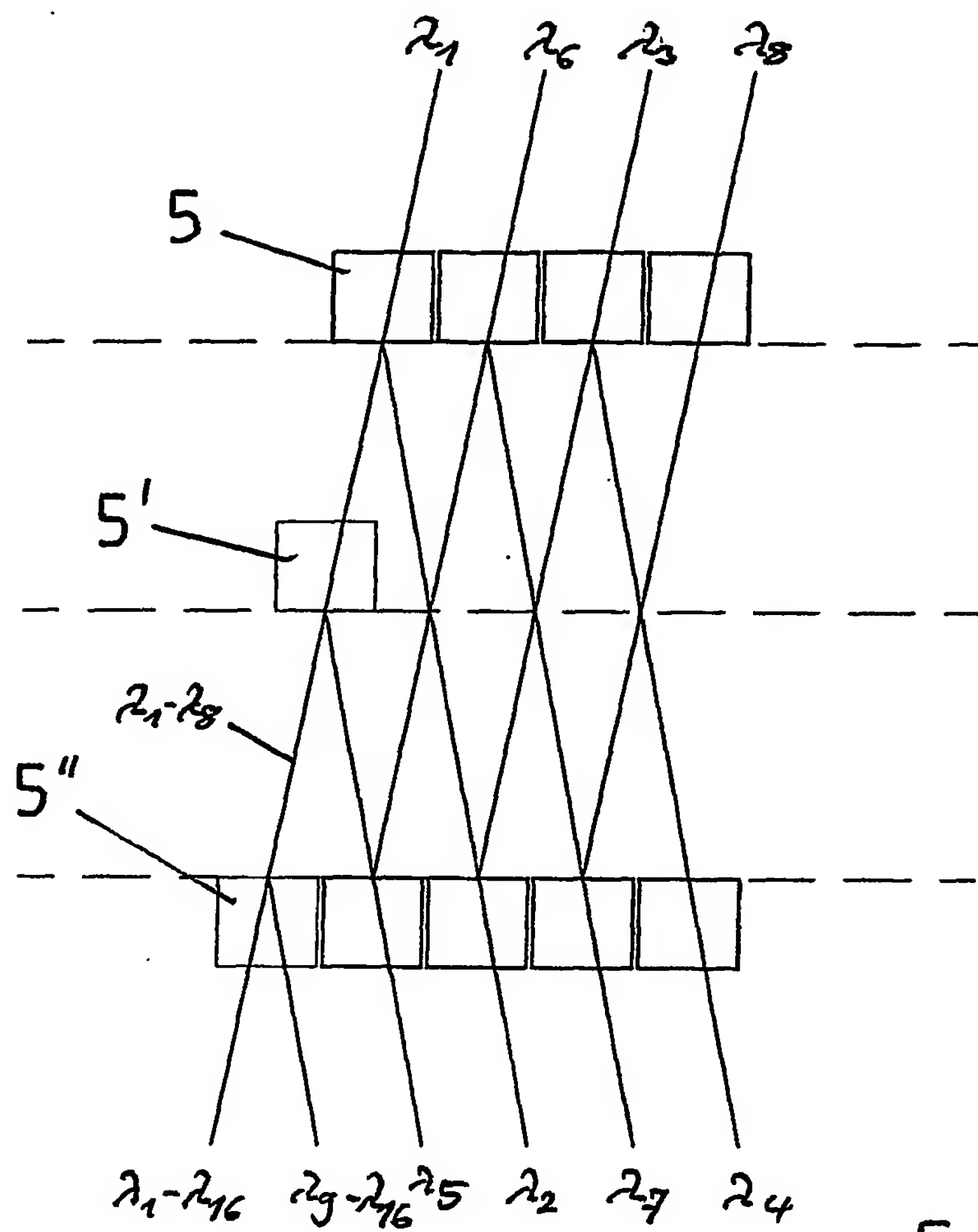
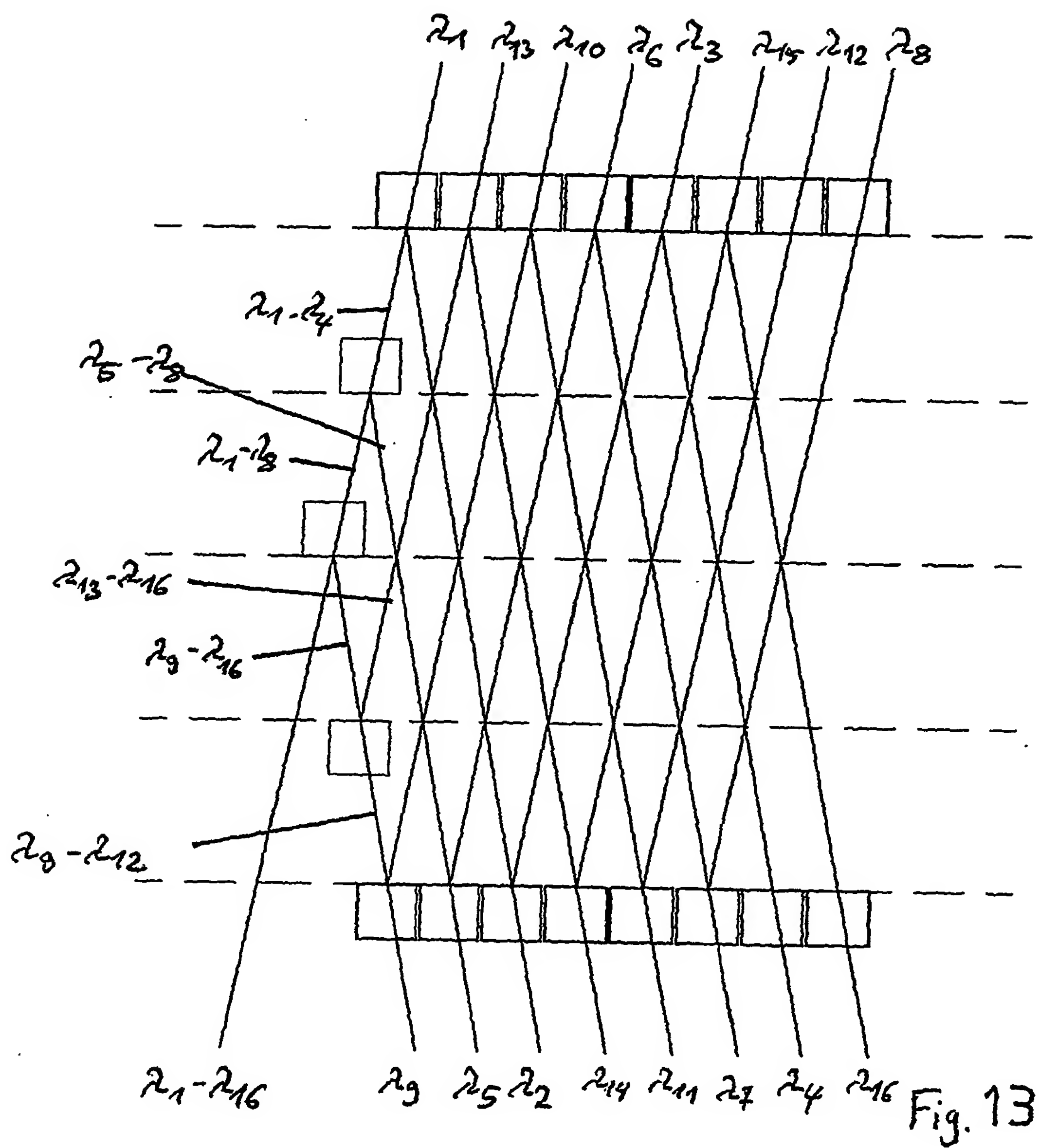


Fig. 12



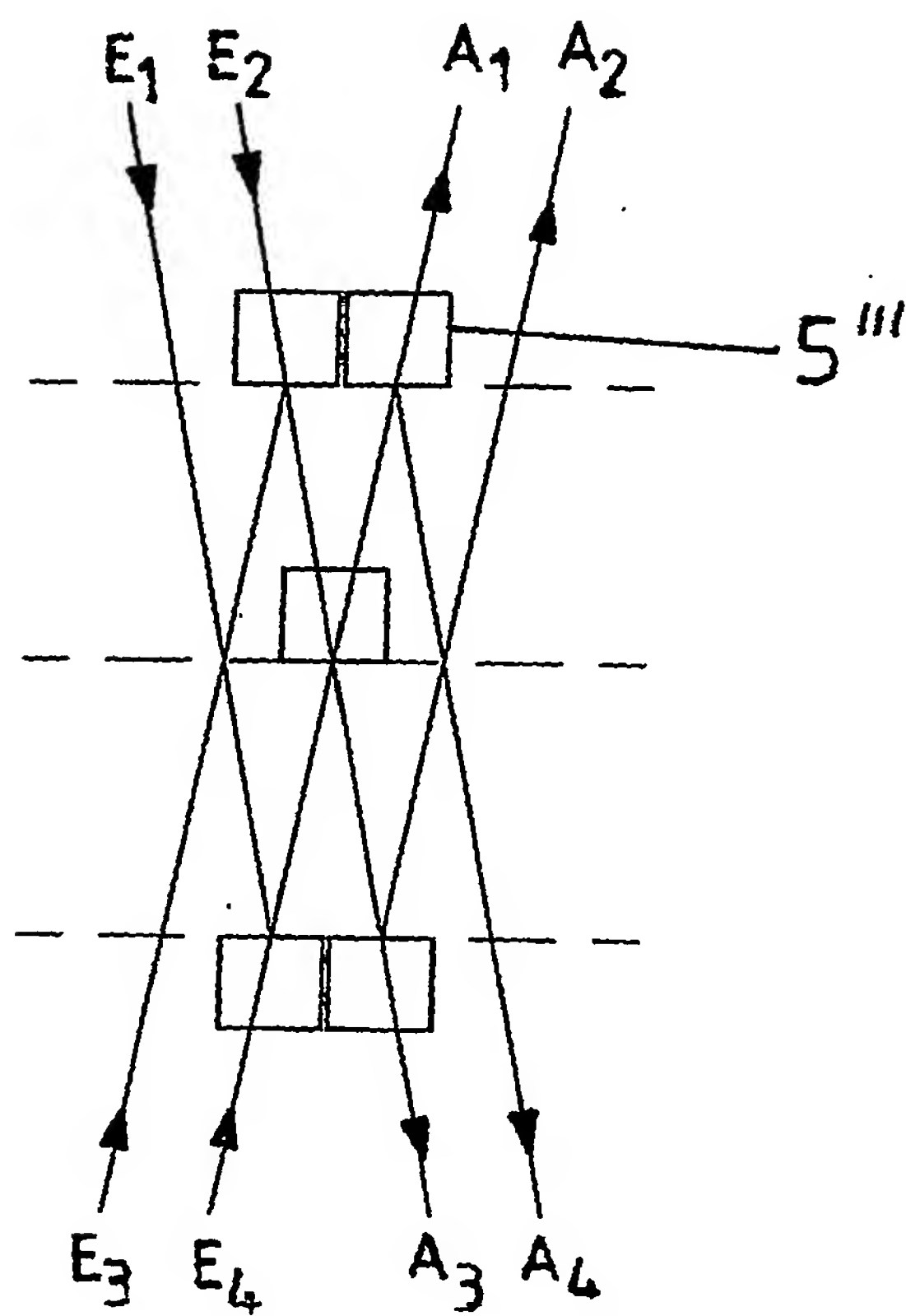


Fig. 14

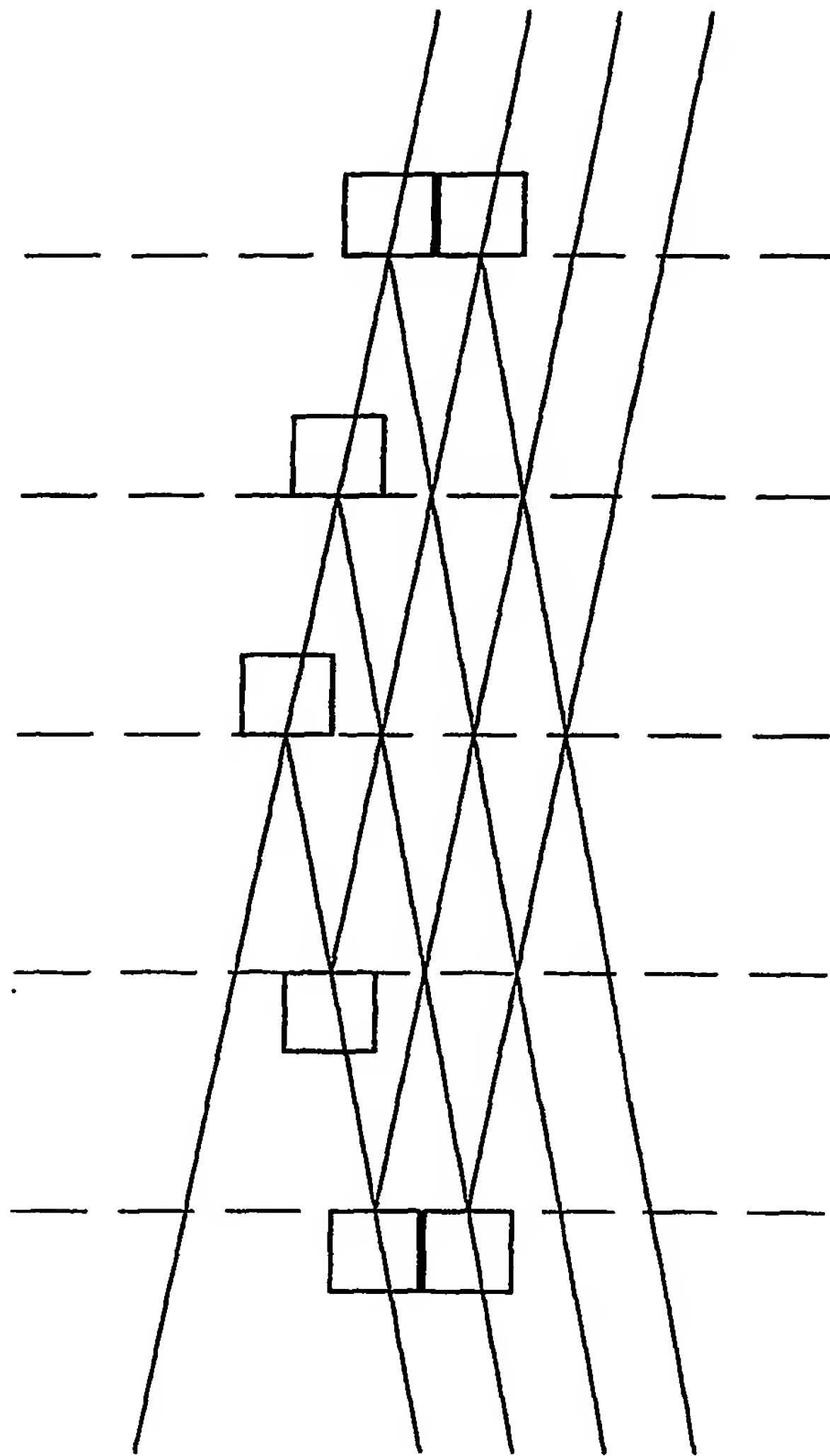


Fig.15